

## ПЕРСПЕКТИВНОСТЬ КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ ПОГРАНИЧНОГО БУРОУГОЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ В ЗАБАЙКАЛЬЕ

Г.П. Сидорова<sup>1</sup>, А.А. Якимов<sup>1</sup>, Н.В. Овчаренко<sup>1</sup>, П.Ю. Поздняков<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Забайкальский государственный университет, Чита, Россия, e-mail: druja@inbox.ru,

<sup>2</sup> ООО «Разрез Кутинский», Краснокаменск, Россия

**Аннотация:** Комплексное использование углей — важнейшее направление повышения эффективности производства, которое ведет к расширению сырьевой базы, увеличению ассортимента вырабатываемой продукции, повышению рентабельности угледобывающих и перерабатывающих предприятий и обеспечивает сокращение вредных выбросов в атмосферу и сокращению территорий занятых отходами переработки угля. Угли в своем составе содержат значительную группу микроэлементов, концентрации которых могут значительно превышать их средние содержания в земной коре и осадочных породах. Это обусловлено тем, что геохимическая среда в угленосных пластах благоприятна для накопления микроэлементов по сравнению со средним фоном земной коры. Микроэлементы характеризуются особенностью неравномерного распространения в углях не только различных месторождений, но и в пределах одного пласта месторождения. Это характерно и для угольных месторождений Забайкалья. В Забайкалье уголь является основным источником производства энергии, альтернативы ему в перспективе нет. Бурые угли Забайкалья характеризуются повышенными и высокими содержаниями германия и других редких и рассеянных элементов. Рассмотрено Пограничное буроугольное месторождение как объект комплексного освоения по основным направлениям использования углей: энергетическое и технологическое. Дана предварительная оценка характера распределения германия, галлия и бериллия в угольных пластах.

**Ключевые слова:** комплексное использование углей, золошлаковые отходы, геохимическая среда, германий, галлий, бериллий, пласты угля, геологические запасы.

**Благодарность:** Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (Грант 18-05-00397).

**Для цитирования:** Сидорова Г. П., Якимов А. А., Овчаренко Н. В., Поздняков П. Ю. Перспективность комплексного освоения пограничного буроугольного месторождения в Забайкалье // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – № 3. – С. 36–42. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-03-0-36-42.

### Integrated development prospects for Pogramichnoe brown coal deposit in Transbaikalia

G.P. Sidorova<sup>1</sup>, A.A. Yakimov<sup>1</sup>, N.V. Ovcharenko<sup>1</sup>, P.Yu. Pozdnyakov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Transbaikal State University, 6720300, Chita, Russia, e-mail: druja@inbox.ru,

<sup>2</sup> LLC «Kutinsky opencast mine», 674650, Krasnokamensk

**Abstract:** The integrated use of coal is the most important direction of increasing production efficiency, which expands raw material supply, increases production range, enhances profitability of coal mining

and processing, reduces harmful emissions into the atmosphere and diminishes areas occupied by coal processing waste. Coals contain considerable group of trace elements at concentrations significantly higher than their average content in the crust and sedimentary rocks. This circumstance is governed by the fact that the geochemical environment in coal-bearing strata is favorable for the accumulation of trace elements as compared the average background of the earth's crust. Trace elements are characterized by uneven distribution in coals not only per various deposits but even within a seam of a deposit, which is typical of coal deposits in Transbaikalia. In Transbaikalia, coal is the primary source of power production without any alternative in the future. In addition, brown coals of Transbaikalia are characterized by very high and high contents of germanium and other rare and trace elements. This article discusses in detail Pogranichnoe brown coal deposit as an integrated development project in the main areas of coal use: power production and industry. The preliminary estimate of germanium, gallium and beryllium distribution in coal seams is given.

**Key words:** multiple coal use, ash, geochemical environment, germanium, gallium, beryllium, coal seam, probable reserves.

**Acknowledgements:** The study was supported by the Russian Foundation for Basic Research, Grant No. 18-05-00397.

**For citation:** Sidorova G. P., Yakimov A. A., Ovcharenko N. V., Pozdnyakov P. Yu. Integrated development prospects for Pogranichnoe brown coal deposit in Transbaikalia. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2019;3:36-42. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-03-0-36-42.

---

Комплексное использование углей — важнейшее направление повышения эффективности производства, которое ведет к расширению сырьевой базы, увеличению ассортимента вырабатываемой продукции, повышению рентабельности угледобывающих и перерабатывающих предприятий и обеспечивает сокращение вредных выбросов в атмосферу и сокращению территорий занятых отходами переработки угля. По данным публикаций, объем золошлаковых отходов на Российских ТЭС в настоящее время составляет около 1,6 млрд т и увеличивается ежегодно примерно на 25 млн т, при этом утилизируется всего около 10% т.е. 2,5 млн т/год [ 9 ]. Кроме этого значительное влияние на экологическую обстановку территорий оказывают выбросы угольных ТЭС, содержащие значительное количество микроэлементов, в том числе токсичных. Угли и продукты их переработки, очень часто содержат значительные концентрации химических элементов: редких, токсичных и радиоактивных [1—5].

Исследованиям в данном направлении уделяется значительное внимание и результаты этих исследований хорошо представлены в современных российских и зарубежных изданиях [10].

Угли в своем составе содержат значительную группу микроэлементов, концентрации которых могут значительно превышать их средние содержания в земной коре и осадочных породах. Это обусловлено тем, что геохимическая среда в угленосных пластах благоприятна для накопления микроэлементов по сравнению со средним фоном земной коры.

По данным Ю.Н. Жарова в углях, горючих сланцах, торфе установлено наличие более 50 малых элементов [6]. В пределах чувствительности массовых спектральных анализов (0,001—0,0001%) достоверно выявлены 25—27 элементов, из которых максимально обоснована концентрация для германия и галлия.

В соответствии с геохимической классификацией по концентрированному приращению к малым элементам относят собственно малые элементы 0,1—0,001%

Таблица 1

**Классификация малых элементов в углях [6, 7]**  
**Classification of minor elements in coal [6, 7]**

Группа малых элементов	Интервал содержания, г/т сухого вещества	Ориентировочный состав групп малых элементов в углях
Собственно малые	1000–10	B, F, Cl, Ti, V, Cr, Mn, Ni, Cu, Zn, As, Zr, Ba, Pb
Редкие	10–0,1	Li, Be, Sc, Co, Ga, Ge, Se, Sr, Br, Y, Nb, Mo, Cd, Sn, Sb, Zn, Cs, La, Yb, W, Bi, U
Ультраредкие	менее 0,1	Ag, Re, Au, Pt, Hg

(1000–10 г/т), редкие—0,001–0,00001% (10–0,1 г/т) и ультраредкие с содержанием менее 0,00001% (менее 0,1 г/т) [7].

По данным американских ученых, почти половину ежегодно потребляемых в стране, бериллия, мышьяка, висмута, кобальта и др., можно было бы получить из угля, при существующих объемах его добычи в США, снизив при этом уровень экологического загрязнения [8].

Микроэлементы характеризуются особенностью неравномерного распространения в углях не только различных месторождений, но даже и пределах одного пласта месторождения [11]. Что является характерным и для угольных месторождений Забайкалья.

В Забайкалье уголь является основным источником производства энергии, альтернативы ему в перспективе нет, к тому же сырьевой потенциал края является надежной основой для дальнейшего развития угольной отрасли.

Кроме этого бурые угли Забайкалья характеризуются повышенными и высокими содержаниями германия, а расположенное здесь Тарбагатайское германий — угольное месторождение является промышленным объектом по добыче германиевого сырья.

По производству и потреблению германия Советский Союз занимал ведущее место в мире, в основном (80%) за счет добычи и переработки богатых германиеносных углей Тарбагатайского и Новиковского (о. Сахалин) месторож-

дений. Сжигание углей с улавливанием германиеносной золы производилось на Читинской ТЭЦ-2. Зола отгружалась на Ангренинский химико-металлургический завод (Узбекистан) для получения германиевого концентрата, который перерабатывался на Красноярском заводе цветных металлов (в настоящее время ФГУП «Германий») с получением металлического германия, диоксида германия и других продуктов.

В настоящее время добыча и переработка германия в регионе не ведется.

Кроме германия в углях Забайкалья в повышенных концентрациях выделяется большая группа редких и рассеянных элементов в различных весовых количествах.

Пограничное месторождение расположено в Приаргунском районе, в 45 км от железнодорожной ст. Приаргунск. Геологоразведочные работы проведены с 1958 до 1963 г. Месторождение обрабатывалось областным управлением бытового обслуживания (была пройдена небольшая наклонная шахта по пласту Б). В настоящее время месторождение не разрабатывается.

Все угольные пласты на месторождении входят в состав верхнего горизонта мощных угольных пластов. Он включает в себя 13 пластов бурого угля, мощность которых колеблется от 0,1 до 11 м. Ученные запасы углей по состоянию на 01.01.2000 г. по категориям А+В+С1 составили 187,5 млн т для открытой отработки. Забалансовые запасы в количе-

стве 191,6 млн т требуют дополнительно изучения.

Основные показатели качества углей отдельных пластов как усредненные, так и по пределам колебаний, близки между собой. Изменяются они, за исключением зольности и в разрезе месторождения, и по площади незначительно. По величине влаги рабочей, теплотворной способности, выходу летучих веществ, содержанию углерода угли Пограничного месторождения могут быть отнесены к бурым групп 2Б-3Б (по ГОСТ 25543-88). Они являются удовлетворительным энергетическим сырьем для пылевидного и слоевого сжигания в стационарных установках, а также для коммунальных и бытовых нужд.

Горно-технические условия месторождения благоприятны для организации карьерной отработки пласта Е. Попутной отработке подлежат пласты В и Г, которые в пределах некоторых участков имеют промышленную мощность. Средний коэффициент вскрыши пласта Е (с учетом

Таблица 2

**Геологические запасы Ge, Ga, Be на Пограничном месторождении бурого угля**

(Деуля Т.Т., Ланин В.А. и др., 1963 г.)

*In place reserves of Ge, Ga, Be in Pogranichnoe brown coal deposit*

(Deulya T.T., Lanin V.A., etc., 1963)

Наименование пластов	Геологические запасы Ge в кг в расчете на сухое топливо (в т.ч. по категории C <sub>2</sub> )	Геологические запасы Ga, в кг в расчете на сухое топливо	Геологические запасы Be в кг в расчете на сухое топливо
A <sup>11</sup>	80 486,3	112 176,0	155 363,8
A <sup>1</sup>	195 193,5	282 856,4	105 891,9
A	163 080,2	199 398,3	124 978,3
Б	608 639,3	67 550,2	58 967,6
В	107 954,1	376 801,3	172 311,3
Г	165 522,5	449 017,4	100 517,3
Е	1 348 340,1	196 219,4	167 903,2
З	313 472,5	65 136,0	79 720,8
И	698 807,0	946 592,5	972 275,0
К	1 123 135,0	1 638 426,0	1 023 617,2
Всего по месторождению	4 804 630,5	4 828 676,0	3 324 231,3

попутно обрабатываемых пластов В и Г) составляет 4,83 м<sup>3</sup>/т.

Средние качественные показатели углей месторождения, %: W<sub>r</sub><sup>r</sup> = 26,4; A<sup>d</sup> = 23,2; V<sup>daf</sup> = 47,0; S<sub>t</sub><sup>d</sup> = 0,4; C<sup>daf</sup> = 75,3; H<sup>daf</sup> = 6,0; N<sup>daf</sup> = 2,0; Q<sub>s</sub><sup>daf</sup> = 30,2 МДж/кг (7207 ккал/кг), Q<sub>r</sub><sup>r</sup> = 15,6 МДж/кг (3740 ккал/кг).

Средний химический состав золы (в %): SiO<sub>2</sub> = 70,4; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 6,2; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 9,3; CaO = 4,4; MgO = 1,0; SO<sub>3</sub> = 2,5.

По данным исследований в золе отмечены: германий до 50 г/т, галлий до 200 и бериллий до 150 г/т.

Впервые прогнозный подсчет запасов германия, галлия и бериллия на Пограничном месторождении был выполнен Иркутской партией в 1962 г. Геологические запасы по месторождению определены: германий — 4 804 630,5 кг, в т.ч. балансовые (C<sub>2</sub>) — 1 185 787,5 кг; галлий — 4828 676,0 кг; бериллий — 3 324 231,3 кг.

Результаты подсчетов запасов по пластам представлены в табл. 2.

Характер распределения по массе угля германия, галлия и бериллия, изучен недостаточно. Имеющиеся данные позволяют сделать лишь предварительную оценку характера распределения этих трех элементов в угольных пластах.

Германий в углях пограничного месторождения распространен неравномерно как по площади угольных пластов, так и по их мощности. Балансовые и забалансовые концентрации германия при данной степени разведанности месторождения не тяготеют к какой либо части структуры угольного пласта и носят спорадический характер. Однако при более детальном опробовании месторождения, не исключена возможность выявления закономерностей распространения германия, как по простиранию пластов, так и по их падению. На это указывают и данные 2-х единичных скважин, пробуренных в более поздний период. По отдельным пластам распределение германия по мощности не одинакова. В одних случаях концентрация германия почти не изменяется по мощности пласта, в других — максимальные концентрации элемента отмечаются либо в верхних, либо нижних частях пластов.

Не выявлена и зависимость концентрации германия от зольности.

По оценке имеющихся данных, наиболее перспективными на германий являются угли пластов Б, Е, З, И и К. Во всех этих пластах выделены блоки с промышленными концентрациями германия (более 50 г/т золы). Выделенные участки, при эксплуатации месторождения могут служить сырьевым источником германия. Галлий в углях Пограничного месторож-

дения распространен довольно равномерно по всей массе угольных пластов, что показано в табл. 2.

Концентрации бериллия в углях месторождения варьирует, так же как и германий в широких интервалах.

### **Заключение**

Перспективность разработки Пограничного бурогоугольного месторождения является весьма благоприятной и оценивается по следующими факторами:

- географическое положение, связанное с близостью потенциального покупателя сырья — КНР и сравнительно развитая инфраструктура;
- благоприятные горно-геологические условия, а именно: большая и выдержанная мощность основных угольных пластов, небольшая глубина их залегания, отсутствие тектонических нарушений и небольшие углы падения пластов позволяют обрабатывать месторождения открытым способом;
- незначительная обводненность;
- качественные показатели углей, позволяющие использовать их как хороший энергоноситель для пылевидного и слоевого сжигания в стационарных котельных установках, а также для коммунальных и бытовых нужд;
- угли месторождения рекомендуются рассматривать как комплексное сырье, прежде всего на германий, галлий и бериллий.

Кроме этого, учитывая генезис месторождения, рекомендуются дополнительные исследования по определению концентраций в углях редкоземельных элементов.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Юдович Я. Э., Кетрис М. П. Токсичные элементы-примеси в ископаемых углях. — Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2005. — 655 с.
2. Юдович Я. Э., Кетрис М. П., Мерц А. В. Элементы-примеси в ископаемых углях. — Л.: Наука, 1985. — 238 с.
3. Юровский А. В. Минеральные компоненты твердых ископаемых. — М.: Недра, 1968. — 214 с.

4. Шпирт М. Я., Клер В. Р., Перциков И. З. Неорганические компоненты твердых топлив. — М.: Химия, 1990. — 239 с.
5. Шпирт М. Я. Безотходная технология, Утилизация отходов добычи и переработки твердых горючих ископаемых / Под ред. Б. И. Ласкорина. — М.: Недра, 1986. — 158 с.
6. Жаров Ю. Н. Малые элементы в твердых каустобиолитах // Российский химический журнал. — 1994. — № 5. — С. 12–19.
7. Металлогения и геохимия угленосных и сланцесодержащих толщ СССР. Геохимия элементов. — М.: Наука, 1987. — 239 с.
8. Bragg L. J., Oman J. K., Tewalt S. J., Oman C. L., Rega N. H., Washington P. M., Финкельман Р. Б. База данных по качеству угля (COALQUAL), версия 2.0. U.S. Geol. Обзор открытого файла отчета 97–134, 1998.
9. Кожуховский И. С., Цыльковский Ю. К. Угольные ТЭС без золошлакоотвала: реальность и перспективы // Энергетик. — 2011. — № 6. — С. 20–23.
10. Сидорова Г. П., Крылов Д. А. Радиоактивность углей и золошлаковых отходов угольных электростанций. Монография. — Чита: ЗабГУ, 2016. — 237 с.
11. Шпирт М. Я., Володарский И. Х., Зекель Л. А. Закономерности поведения малых элементов в процессах переработки углей // Российский химический журнал. — 1994. — № 5. — С. 12–19.
12. Крылов Д. А., Сидорова Г. П. Пути снижения экологического воздействия на окружающую среду угольных ТЭС России // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2015. — № 11. — С. 277–285.
13. Авдеев П. Б., Кужииков А. А., Куклина Г. Л. Перспективы использования германийсодержащих углей Тарбагатайского бурогоугольного месторождения в Забайкалье // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2015. — № 5. — С. 26–31. **ПЛАТ**

## REFERENCES

1. Yudovich Ya. E., Ketris M. P. *Toksichnye elementy-primesi v iskopaemykh uglyakh* [Toxic impurity elements in fossil coal], Ekaterinburg, Izd-vo UrO RAN, 2005, 655 p.
2. Yudovich Ya. E., Ketris M. P., Merts A. V. *Elementy-primesi v iskopaemykh uglyakh* [Impurity elements in fossil coal], Leningrad, Nauka, 1985, 238 p.
3. Yurovskiy A. V. *Mineral'nye komponenty tverdykh iskopaemykh* [Mineral components in solid fossil fuels], Moscow, Nedra, 1968, 214 p.
4. Shpirt M. Ya., Kler V. R., Pertsikov I. Z. *Neorganicheskie komponenty tverdykh topliv* [Inorganic components in solid fuels], Moscow, Khimiya, 1990, 239 p.
5. Shpirt M. Ya. *Bezotkhodnaya tekhnologiya, Utilizatsiya otkhodov dobychi i pererabotki tverdykh goryuchikh iskopaemykh*. Pod red. B. I. Laskorina [Wasteless technology. Solid fossil fuel extraction and processing waste reclamation. Laskorin B. I. (Ed.)], Moscow, Nedra, 1986, 158 p.
6. Zharov Yu. N. Minor elements in solid caustobioliths. *Rossiyskiy khimicheskiy zhurnal*. 1994, no 5, pp. 12–19. [In Russ].
7. *Metallogeniya i geokhimiya uglenosnykh i slantsesoderzhazhikh tolshch SSSR. Geokhimiya elementov* [Metallogeny and geochemistry of coal-bearing and shale-containing strata in the USSR. Geochemistry of elements], Moscow, Nauka, 1987, 239 p.
8. Bragg L. J., Oman J. K., Tewalt S. J., Oman C. L., Rega N. H., Washington P. M., Finkelman R. B. *Baza dannykh po kachestvu uglya (COALQUAL), versiya 2.0. U.S. Geol. Obzor otkrytogo fayla otcheta 97–134* (Coal quality (COALQUAL) database, version 2.0. U.S. Geol. Open-File Report 97–134 review), 1998.
9. Kozhukhovskiy I. S., Tselykovskiy Yu. K. Coal-fired thermal power stations free from ash damps: Reality and prospects. *Energetik*. 2011, no 6, pp. 20–23. [In Russ].
10. Sidorova G. P., Krylov D. A. *Radioaktivnost' ugley i zoloshlakovykh otkhodov ugol'nykh elektrostantsiy*. Monografiya [Radioactivity of coal, ash and slag at coal-fired power stations. Monograph], Chita, ZabGU, 2016, 237 p.
11. Shpirt M. Ya., Volodarskiy I. Kh., Zekel' L. A. Behavioral regularities of minor elements during coal conversion. *Rossiyskiy khimicheskiy zhurnal*. 1994, no 5, pp. 12–19. [In Russ].
12. Krylov D. A., Sidorova G. P. Ways to mitigate ecological impact of coal-fired thermal power stations in Russia. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2015, no 11, pp. 277–285. [In Russ].

13. Avdeev P. B., Kuzhikov A. A., Kuklina G. L. Prospects for the use of germanium-bearing coal from the Tarbagatay lignite field in Transbaikalia. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2015, no 5, pp. 26–31. [In Russ].

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Сидорова Галина Петровна*<sup>1</sup> — доктор технических наук, профессор, e-mail: druja@inbox.ru,

*Якимов Алексей Алексеевич*<sup>1</sup> — кандидат технических наук, доцент, e-mail: yaa76@yandex.ru,

*Овчаренко Наталья Валерьевна*<sup>1</sup> — аспирант, e-mail: nataovharenko@mail.ru,

*Поздняков Павел Юрьевич*<sup>1</sup> — директор, ООО «Разрез Кутинский», e-mail: pozdnyakovry@gmail.com,

<sup>1</sup> Забайкальский государственный университет,

**Для контактов:** Сидорова Г.П., e-mail: druja@inbox.ru.

### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*G.P. Sidorova*<sup>1</sup>, Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: druja@inbox.ru,

*A.A. Yakimov*<sup>1</sup>, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, e-mail: yaa76@yandex.ru,

*N.V. Ovcharenko*<sup>1</sup>, Graduate Student, e-mail: nataovharenko@mail.ru,

*P.Yu. Pozdnyakov*, Director, LLC «Kutinsky opencast mine», 674650, Krasnokamensk, Russia, e-mail: pozdnyakovry@gmail.com,

<sup>1</sup> Transbaikal State University, 6720300, Chita, Russia,

**Corresponding author:** G.P. Sidorova, e-mail: druja@inbox.ru.



---

### РУКОПИСИ, ДЕПОНИРОВАННЫЕ В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ «ГОРНАЯ КНИГА»

---

#### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОДНОФАЗНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ДЛЯ ОСВЕТИТЕЛЬНОЙ СЕТИ В ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ

(№ 1176/03-19, № 1176/03-19 от 31.01.2019; 15 с.)

*Шайнуров Евгений Борисович*<sup>1</sup> — студент, e-mail: zhenyashaynurov@mail.ru,

*Петров Геннадий Михайлович*<sup>1</sup> — кандидат технических наук, профессор, e-mail: petrovgm@mail.ru,

<sup>1</sup> НИТУ «МИСиС».

Получены зависимости потери напряжения в однофазных осветительных трансформаторах от коэффициента загрузки, при использовании аппаратов в осветительных сетях подземных горных выработках и горнодобывающих предприятий. Для осветительных аппаратов были получены зависимости расчетных минимальных токов короткого замыкания от приведенной длины осветительного кабеля с медными жилами, при питании однофазных осветительных трансформаторов разной мощности и различного вторичного напряжения.

Ключевые слова: электрическое освещение, светодиодные светильники, осветительные аппараты, подземные горные выработки, потеря напряжения, коэффициент загрузки.

#### THE USE OF SINGLE-PHASE TRANSFORMERS FOR LIGHTING IN UNDERGROUND MINE WORKINGS

*E.B. Shaynurov*<sup>1</sup>, Student, e-mail: zhenyashaynurov@mail.ru,

*G.M. Petrov*<sup>1</sup>, Candidate of Technical Sciences, Professor, e-mail: petrovgm@mail.ru,

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

The dependences of voltage loss in single-phase lighting transformer on the load factor, when using devices in the lighting networks of underground mines and mining enterprises. For lighting devices, the dependences of the calculated minimum short-circuit currents on the reduced length of the lighting cable with copper conductors, when feeding single-phase lighting transformers of different power and different secondary voltages were obtained.

Key words: electric lighting, led lamps, lighting devices, underground mining, voltage loss, load factor.