Совершенствование технологии добычи диатомита на шахте Сиг в Алжире

Абдессаттар ЛАМАМРА^{1*}Виталий Андреевич ЕРЕМЕНКО^{1**}Дмитрий Леонидович НЕГУРИЦА^{2***}¹Российский университет дружбы народов, Россия, Москва²Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе, Россия, Москва

Аннотация

Актуальность работы. Совершенствование технологии добычи полезных ископаемых в подземных шахтах и рудниках для повышения их производительности является важнейшей задачей горнодобывающей промышленности Алжира в гонке за ценовой конкурентоспособностью, особенно после резкого снижения цены на нефть – основной доход Алжира.

Цель работы. Для диверсификации добычи полезных ископаемых Алжир стремится увеличить добычу на диатомитовом месторождении вблизи г. Сиг на западе страны. Сложные горно-геологические условия месторождения диатомита на шахте около г. Сиг, где массив горных пород ввиду слабых прочностных свойств имеет низкую несущую способность, является самой серьезной проблемой на пути реализации планов увеличения добычи. Применяемая в настоящее время камерно-столбовая система разработки не соответствует горнотехническим условиям разработки месторождения диатомита, ведение подготовительных и очистных работ постоянно сопровождается обрушениями и вывалами пород кровли.

Результаты. Для обеспечения увеличения производительности до 100 тыс. т диатомита в год и выше необходимо техническое перевооружение шахты с изменением технологии его добычи.

Выводы. Внедрение системы разработки длинными столбами с очистным механизированным комплексом, которая широко применяется в угольной отрасли, позволит значительно увеличить добычу диатомита, обеспечить безопасность ведения подземных горных работ, снизить потери при освоении месторождения.

Ключевые слова: месторождение диатомита, сложные горно-геологические и горнотехнические условия, камерно-столбовая система разработки, система разработки длинными столбами.

Введение

Национальная компания по добыче цветных металлов ENOF объявила об увеличении добычи руды на диатомитовом месторождении (шахта г. Сиг) с 3 тыс. т до 130 тыс. т в год [1] для обеспечения возрастающего спроса на диатомит (кизельгур). В настоящее время определено более 12 000 видов диатомитов [2, 3]. Возрастающий спрос на эти минеральные ресурсы ввиду их многопланового использования вызывает необходимость совершенствования технологии его добычи.

На шахте г. Сиг диатомит представлен кремнистой осадочной породой биогенного происхождения, образованной скоплением диатомовых скелетов [4] (одно-клеточных бурых водорослей) размером от 10 до 50 мкм [5] и аморфным гидратированным диоксидом кремния (опал). Ниже приведены основные физические свойства кизельгура, добываемого национальной компанией ENOF [1].

Добытый диатомит используется для фильтрации жидкостей, в качестве наполнителя (пластмасса, резина, бумага, керамика), в производстве строительных, изоляционных материалов, удобрений, разнообразных покрытий, в косметической отрасли и т. п. [6, 7].

Основные физические свойства диатомита.

Basic physical properties of Diatomite.

Проницаемость, см/с	2,03 · 10 ⁻³
Растворимость в воде, %	1,9
Твердость	3–5
Плотность, кг/м ³	700

Город Сиг находится в 390 км к западу от столицы Алжира, в центре между четырьмя крупными городами: двумя прибрежными (Оран, 54 км и Мостаганем, 70 км) и двумя внутренними (Маскара, 50 км и Сиди Бель-Аббес, 80 км). Месторождение диатомита Сиг, как показано на рис. 1, расположено в 15 км к юго-востоку от города Сиг [1].

Размеры месторождения: средняя длина – 1,5 км, средняя ширина – 1,39 км, а его поверхность составляет 209 га. Оно разделено на два горнодобывающих района: район Ганы на северо-западе и район Морин на юго-востоке. В работе [8] с использованием программного обеспечения S-GeMS 2D были рассчитаны запасы диатомита на месторождении, которые составляют запас около 5,2 млн т.

✉ lamamraabdessattar@gmail.com

ID <https://orcid.org/0000-0002-5472-0885>

**prof.eremenko@gmail.com

***neguritsadl@mgri.ru

Рисунок 1. Геологическая карта Западного региона с основными месторождениями.
Figure 1. Geological map of the Western region with the main deposits.

Рисунок 2. Подготовительные работы [10].
Figure 2. Drifting: Opening of the tracks [10].

Рисунок 3. Очистные работы [10].
Figure 3. Stopping, cross-cuts, long pillar to Exploit the Pillars [10].

В связи с тем, что залегание диатомита достигает глубины 84 м [1], на месторождении диатомита в Сигском районе уже несколько лет применяется его подземная добыча. Поэтому открытая или комбинированная (открыто-подземная) система разработки не рассматриваются ввиду экономической неэффективности.

Совершенствование технологии добычи диатомита на шахте вблизи г. Сиг будет основано на комбинации системы разработки длинными столбами как основного способа добычи и камерно-столбовой системы разработки для повышения извлечения полезного ископаемого на участках оставляемых целиков неправильной формы.

В настоящее время при отработке месторождения на шахте около г. Сиг применяется камерно-столбовая система разработки, которая заключается в проходке параллельных штреков шириной 4 м (рис. 2), расположенных на расстоянии 4 м друг от друга по ширине столба. Эти столбы затем частично извлекаются (рис. 3), только оставшиеся целики, расположенные в 2 м в стороне, не отработываются [9].

Производительность шахты в последние годы не превышает 3 тыс. т в год (рис. 4), и это связано с несколькими факторами:

- используемая технология отработки запасов полезных ископаемых не учитывает физико-механических свойства залежи;

- несущая способность пород очень низкая, вызывает обрушения кровли шахты, особенно при использовании оборудования, вызывающего вибрации.

После анализа данных по испытаниям свойств горных пород, проведенных лабораторией предприятия в вышележащих слоях, таких как аргиллит, песчаник, известняк и минерализованный слой диатомита, удалось подтвердить проблемы со стабильностью кровли на основе испытаний большого количества образцов из керна и полевых выработок эксплуатируемой части месторождения, особенно в отношении слоя диатомита, который обладает очень низким сопротивлением сжатию по физико-механическим свойствам (таблица).

Учитывая схожесть условий залегания и физико-механических свойств диатомита на месторождении Сиг в Алжире (крепость 3–5) – таблица, с месторождениями каменного угля (крепость в диапазоне 1–7) [11], авторы предлагают применение системы разработки длинными столбами с полным обрушением пород кровли и комплексной механизации (рис. 5).

Физико-механические свойства минерализованного и вышележащего слоя.
The physical and mechanical properties of the mineralized and underlying layer.

Слои пород	Плотность, кг/м ³	Модуль Юнга, МПа	Сплоченность, МПа	Внутренний угол трения, град.	Коэффициент Пуассона
Песчаник	2330	4400	8000	30,00	0,30
Известняк	2736	69010	23410	37,42	0,23
Аргиллит	2300	4000	30000	32,00	0,32
Диатомит	700	0,533	204,87	23,50	0,30

Рисунок 4. Производительность шахты в последние годы [1].

Figure 4. Mine performance in recent years [1].

С применением системы разработки длинными столбами осваивается значительная часть запасов в мире. В странах с развитой горной промышленностью (США, Китай, Российская Федерация, Казахстан и др.) при подземной добыче угля доля системы разработки длинными столбами составляет более 75 %.

Система разработки длинными столбами стала популярна благодаря:

- высокому уровню автоматизации и механизации добычных процессов;
- высокой производительности одного длинного забоя;
- малой численности обслуживающего персонала в подземном пространстве;
- возможности управлять добычным комплексом дистанционно, исключая присутствие в забое рабочих;
- повышенной безопасности добычи и отработки месторождения в целом.

Система разработки длинными столбами состоит из трех основных компонентов: комбайн для отбойки полезного ископаемого, скребковый конвейер и гидравлическая крепь. Полезное ископаемое удаляется из экстракционной панели с помощью комбайна, который перемещается назад и вперед вдоль рабочей поверхности, перемещаясь по бокам скребкового конвейера гидравлической крепи, разрушая полезное ископаемое в забое и сбрасывая его на скребковый конвейер. Этот конвейер транспортирует полезное ископаемое на главный транспортный штрек с ленточным конвейером и входом свежей струи вентиляции. Стабильность геомеханического состояния области обеспечивается системой поддержки с помощью перемещающихся гидравлических стоек. Ряд гидравлических стоек исполь-

зуется вдоль панели, чтобы обеспечить временное рабочее пространство для персонала и машин для добычи полезного ископаемого, которые продвигаются в процессе добычи. Верхние слои обрушаются за рядом гидравлических стоек крепи. После прохождения заходки комбайна конвейер перемещается горизонтальными домкратами, прикрепленными к самодвижущимся гидравлическим стойкам крепи.

Наблюдения за деформациями толщи вышележащих и нижележащих пород в процессе отработки для установления механизма развития деформационных процессов и склонности кровли к обрушению изложены в работе [12].

Предлагаемая авторами система разработки длинными столбами с полным обрушением пород кровли и применением комплексной механизации предусматривает извлечение полезного ископаемого по всей длине панели 100–150 м [13, 14].

Подготовительные работы включают в себя проходку конвейерного и вентиляционного штреков и монтажной камеры. Откаточные штреки проходятся на одном и том же горизонте. Расстояние между двумя соседними поворотными участками определяет длину забоя [16, 17].

Существующие вскрывающие выработки, обеспечивающие доступ к залежи полезного ископаемого на шахте вблизи г. Сиг были пройдены механическим способом, поскольку подстилающие породы представлены мергелистыми известняками, обладающими низкой устойчивостью, как показано в таблице. Наличие слоя известняка над слоем диатомита с приемлемыми механическими свойствами в значительной степени помогает применять этот метод, предложенный нами, с использованием опор, установленных на рабочем участке.

Рисунок. 5. Современный комплексно-механизированный очистной забой угольной шахты [15].
Figure. 5. Modern complex mechanized coal mine longwall [15].

Предлагаемый нами добычный комплекс комбайна Ebz 120 и скребковых конвейеров Sgb320 имеет производительность 180 м³/ч, но в рабочих условиях производительность составляет 85 %, следовательно, 153 м³/ч при плотности диатомита 700 кг/м³ (см. *Основные физико-механические свойства диатомита*), поэтому производительность машины составит 107 т/ч, количество рабочих часов в день – 6, а количество рабочих дней в году – 250, поэтому при использовании этого нового метода, предложенного нами, будет увеличено производство до 160 000 т/год, и это соответствует планам владельца компании по увеличению производительности предприятия.

Закключение

Таким образом, предложенная система разработки

длинными столбами для извлечения запасов месторождения диатомита, очевидно, обеспечит значительное повышение производительности по сравнению с применяемой сейчас технологией, увеличатся показатели извлечения минерального сырья, произойдет снижение объема подготовительных работ. Внедрение современного добычного оборудования повысит безопасность ведения подземных горных работ и снизит потери при добыче. К сложностям на пути внедрения можно отнести высокую стоимость современных очистных механизированных комплексов и привлечение высококвалифицированного технического персонала по эксплуатации и техническому обслуживанию оборудования, кроме этого, потребуется модернизация системы электроснабжения и вентиляции рудника.

ЛИТЕРАТУРА

1. ENOF Internal document of National Company of non-Ferrous Mining Products // Annual Report about Sig Mine. Algeria, 2004.
2. Li X. W., Dai H. X., Deng J. G., Liu Y. X., Xie S. H., Zhao Z. X., Wang Y., Guo G. S., Arandiyani H. Au/3DOM LaCoO₃: high-performance catalysts for the oxidation of carbon monoxide and toluene // Chemical Engineering Journal. 2013. Vol. 228. P. 965–975. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2013.05.070>
3. Zhao Y.-H., Geng J.-T., Cai J.-Ch., Cai Yu-F. Adsorption performance of basic fuchsin on alkali-activated diatomite // Adsorption Science and Technology. 2020. May. P. 1–17. <https://doi.org/10.1177/0263617420922084>
4. Benzemat L. A., Cherraka R., Hadjel M., Ketteb A., Goual N., Characterization between crude diatomite and diatomite Treated chemically, Algerian J. Env. Sc. Technology. 2019. Vol. 5. № 4. P. 1107–1112.
5. Sprynsky M., Kovalchuk I., Buszewski B. The separation of uranium ions by natural and modified diatomite from aqueous solution // J. Hazard. Mater. 2010. Vol. 181. P. 700–707. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.05.069>
6. Sun Z. M., Yan Y., Zhang G. X., Wu Z. Y., Zheng S. L. The influence of carriers on the structure and photocatalytic activity of TiO₂/diatomite composite photocatalysts // Advanced Powder Technology. 2015. Vol. 26. P. 595–601. <https://doi.org/10.1016/j.appt.2015.01.007>
7. Meradi H., Atoui L., Bahloul L., Boubendira Kh., Bouazdia A., Ismail F. Characterization by thermal analysis of natural kieselguhr and sand for industrial application // Energy Procedia. 2015. Vol. 74. P. 1282–1288. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.07.773>
8. Lamabra A., Neguritsa D., Mazari M. Geostatistical Modeling by the Ordinary Kriging in the Estimation of Mineral Resources on the Kieselguhr Mine, Algeria // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 362. 12051. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/362/1/012051>
9. Khalfi A., Taleb C. Contribution à l'étude d'impact environnemental de l'exploitation minière souterraine et de rejets de traitement (Cas de la mine de Chaabet El-Hamra, Ain Azel, Wilaya de Sétif): Mémoire pour l'obtention du diplôme master académique (Option: Géoressources et Substances Utiles). Tlemcen: Université Abou Bekr Belkaid, 2014. (In French)

10. Groupes de mineurs de fer des 4 mines principales d'Alger. URL: <https://www.bibert.fr/Mines%20de%20Fer/Mines%20de%20Fer.htm>
11. Wongyai K. et al. A geochemistry study of arsenic speciation in overburden from Mae Moh Lignite Mine, Lampang, Thailand // *Environmental Earth Sciences*. 2010. Vol. 70. <https://doi.org/10.1007/s12665-009-0423-8>
12. Eremenko V. A., Neguritsa D. L. Efficient and active monitoring of stresses and strains in rock masses // *Eurasian Mining*. 2016. № 1. P. 21–24. <https://doi.org/10.17580/em.2016.01.02>
13. Ламамра А., Негурица Д. Л. Основные направления развития геотехнологии на Кизельгурском месторождении (Алжир) // *Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых: материалы 14 Междунар. научной школы молодых ученых и специалистов*. М.: ИПКОН РАН, 2019. С. 202–206. URL: www.spsl.nsc.ru/FullText/konfe/ПрОсвНедр2019.pdf
14. Peng S. S., Du F., Cheng J., Li Ya. Automation in U.S. longwall coal mining: A state-of-the-art review // *International Journal of Mining Science and Technology*. 2019. Vol. 29, issue 2. P. 151–159. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2019.01.005>
15. Sampurna N. Arya. A dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy in the College of Engineering at the University of Kentucky. 2018. P. 14–15.
16. Mouhamed M. Les nouvelles méthodes de modélisations numérique 'V'II'CB et le volume d'influence des exploitations minières en conditions complexes: Thèse pour de l'obtention du grade de Docteur de l'I.N.P.L. Génie Civil et Minier, Institut nationalpolytechnique de Lorraine-laboratoire de mécanique des terrains (École des mines de Nancy). 1993. (*In French*)
17. Ralston J. C., Hargrave C. O., Dunn M. T. Longwall automation: trends, challenges and opportunities // *International Journal of Mining Science and Technology*. 2017. Vol. 27, issue 5. P. 733–739. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2017.07.027>

Статья поступила в редакцию 15 февраля 2020 года

Improvement of the mining technology in the diatomite mine, Algeria

Abdessattar LAMAMRA^{1*}

Vitaliy Andreevich EREMEKO^{1**}

Dmitriy Leonidovich NEGURITSA^{2***}

¹Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, Russia

²Sergo Ordzhonikidze Russian State Geological Prospecting University, Moscow, Russia

Abstract

Relevance of the work. After the recent drop in oil prices, which is Algeria's main income, Algeria has been forced to increase production in the mining sector.

Purpose of the work. Algeria seeks to increase the production of the Diatomite Deposit in the sig mine west of Algeria, but the geological conditions and geotechnics of rocks whose resistance to them is weak, are among the most important problems that hinder the increase in production. The currently used room-and-pillar development system does not meet the mining conditions of the development of the Diatomite Deposit, the conduct of preparatory and cleaning works is constantly accompanied by collapses of roof rocks.

Results. To ensure an increase in productivity to 100 thousand tons of Diatomite per year and above, it is necessary to re-equip the mine with a change in the technology of the method of its production.

Conclusions. The introduction of a longwall development system with a mechanized treatment complex, which is widely used in the coal industry, will significantly help to increase Diatomite production, ensure the safety of underground mining operations and increase the resource efficiency of the field.

Keywords: Diatomite Deposit, mining and geological conditions, room-and-pillar development system, longwall development system.

REFERENCES

- 2004, ENOF Internal document of National Company of non-Ferrous Mining Products. *Annual Report about Sig Mine*. Algeria.
- Li X. W., Dai H. X., Deng J. G., Liu Y. X., Xie S. H., Zhao Z. X., Wang Y., Guo G. S., Arandiyani H. 2013, Au/3DOM LaCoO₃: high-performance catalysts for the oxidation of carbon monoxide and toluene. *Chemical Engineering Journal*, vol. 228, pp. 965–975. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2013.05.070>
- Zhao Y.-H., Geng J.-T., Cai J.-Ch., Cai Yu-F. Adsorption performance of basic fuchsin on alkali-activated diatomite // *Adsorption Science and Technology*. 2020. May. P. 1–17. <https://doi.org/10.1177/0263617420922084>
- Benzelmat L. A., Cherraka R., Hadjel M., Ketteb A., Goual N., Characterization between crude diatomite and diatomite Treated chemically, *Algerian J. Env. Sc. Technology*. 2019. Vol. 5. № 4. P. 1107–1112.
- Sprynskyy M., Kovalchuk I., Buszewski B. 2010, The separation of uranium ions by natural and modified diatomite from aqueous solution. *J. Hazard. Mater.*, vol. 181, pp. 700–707. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.05.069>
- Sun Z. M., Yan Y., Zhang G. X., Wu Z. Y., Zheng S. L. 2015, The influence of carriers on the structure and photocatalytic activity of TiO₂/diatomite composite photocatalysts. *Advanced Powder Technology*, vol. 26, pp. 595–601. <https://doi.org/10.1016/j.apt.2015.01.007>
- Meradi H., Atoui L., Bahloul L., Boubendira Kh., Bouazdia A., Ismail F. 2015, Characterization by thermal analysis of natural kieselguhr and sand for industrial application. *Energy Procedia*, vol. 74, pp. 1282–1288. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.07.773>
- Lamamra A., Neguritsa D., Mazari M. 2019, Geostatistical Modeling by the Ordinary Kriging in the Estimation of Mineral Resources on the Kieselguhr Mine, Algeria. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, vol. 362, 12051. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/362/1/012051>
- Khalfi A., Taleb C. 2014, Contribution à l'étude d'impact environnemental de l'exploitation minière souterraine et de rejets de traitement (Cas de la mine de Chaabet El-Hamra, Ain Azel, Wilaya de Sétif): Mémoire pour l'obtention du diplôme master académique (Option: Géoressources et Substances Utiles). Tlemcen: Université Abou Bekr Belkaid. (In French)
- Groupes de mineurs de fer des 4 mines principales d'Alger. URL: <https://www.bibert.fr/Mines%20de%20Fer/Mines%20de%20Fer.htm>
- Wongyai K. et al. 2010. A geochemistry study of arsenic speciation in overburden from Mae Moh Lignite Mine, Lampang, Thailand. *Environmental Earth Sciences*, vol. 70. <https://doi.org/10.1007/s12665-009-0423-8>
- Eremenko V. A., Neguritsa D. L. 2016, Efficient and active monitoring of stresses and strains in rock masses. *Eurasian Mining*, no. 1, pp. 21–24. <https://doi.org/10.17580/em.2016.01.02>
- Ламамра А., Негурица Д. Л. Основные направления развития геотехнологии на Кизельгурском месторождении (Алжир) // *Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых: материалы 14 Междунар. научной школы молодых ученых и специалистов*. М.: ИПКОН РАН, 2019. С. 202–206. URL: www.spsl.nsc.ru/FullText/konfe/ПрОсвНедр2019.pdf
- Peng S. S., Du F., Cheng J., Li Ya. Automation in U.S. longwall coal mining: A state-of-the-art review // *International Journal of Mining Science and Technology*. 2019. Vol. 29, issue 2. P. 151–159. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2019.01.005>
- Sampurna N. Arya. 2018, A dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy in the College of Engineering at the University of Kentucky, pp. 14–15.
- Mouhamed M. 1993, Les nouvelles méthodes de modélisations numérique 'V'/'I'/'CB et le volume d'influence des exploitations minières en conditions complexes: Thèse pour de l'obtention du grade de Docteur de l'I.N.P.L. Génie Civil et Minier, Institut nationalpolytechnique de Lorraine-laboratoire de mécanique des terrains (École des mines de Nancy). (In French)
- Ralston J. C., Hargrave C. O., Dunn M. T. Longwall automation: trends, challenges and opportunities // *International Journal of Mining Science and Technology*. 2017. Vol. 27, issue 5. P. 733–739. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2017.07.027>

The article was received on February 15, 2020

✉ lamamraabdessattar@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-5472-0885>

**prof.eremenko@gmail.com

***neguritsadl@mgri.ru