DOI: 10.31660/0445-0108-2019-5-100-107

УДК 504.55.054:622(470.6)

# Новое направление повышения эффективности добычи нефти из битумов

**Б. С. Цидаев[1], В. И. Голик[1], А. В. Майер[2]***

*[1]Северо-Кавказский горный металлургический институт (государственный технологический университет), г. Владикавказ, Россия*
*[2]Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск, Россия*
**e-mail: mayer-14@mail.ru*

*Аннотация.* Добыча и использование нефти превратились в приоритетный элемент обеспечения существования человеческого общества и одно из основных направлений исследований. Несмотря на обилие публикаций на указанную тему, в разработках имеется пробел. Имеющиеся публикации не содержат сведений о возможности получения попутных товаров, которые могли бы снизить затраты на производство.

Целью исследования является восполнение имеющегося пробела путем поиска технологии, обеспечивающей возможности получения попутной товарной продукции в виде металлов.

Используемая для достижения цели методология исследования комбинирует методы систематизации и анализа имеющихся данных о технологии добычи нефти и технологии выщелачивания металлов с оценкой комплексной технологии на уровне экспертной оценки.

Результаты исследования включают в себя предложение об извлечении металлов из вмещающих нефть пород методами выщелачивания. Обозначена сущность и описан механизм принципиально новой технологии отработки запасов нефтяных месторождений выщелачиванием металлов из руд при комплексировании подземных процессов пиролиза нефти и выщелачивания металлов из вмещающих нефть пород, сочетающей возможности шахтно-скважинной разработки и физико-химических процессов выщелачивания. Сформулированы преимущества новой технологии. Полученные результаты дают ответ на задачи исследования и свидетельствуют о достижении цели.

*Ключевые слова:* добыча нефти; битум; горная порода; извлечение металлов; выщелачивание

# A new direction of increasing the efficiency of oil production from bitumen

**Batraz S. Tsidaev[1], Vladimir I. Golik[1], Andrey V. Mayer[2]***

*[1]North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University), Vladikavkaz, Russia*
*[2]Ugra State University, Khanty-Mansiysk, Russia*
**e-mail: mayer-14@mail.ru*

*Abstract.* Oil production and use have become a priority element in ensuring the existence of human society and one of the main areas of research. Despite the abundance of publications on this topic, there is a gap in the development. Available publications don't contain information about the possibility of obtaining associated goods, which could reduce production costs.

The aim of the study is to fill the gap by searching for technology that provides the opportunity to obtain associated marketable products in the form of metals.

The research methodology used to achieve the goal combines the methods of systematizing and analyzing the available data on oil production technology and metal leaching technology with an integrated technology assessment at the expert assessment level.

The results of the study include a proposal for the extraction of metals from oil-bearing rocks by leaching methods. The essence and mechanism of a fundamentally new technology for mining reserves of oil fields by leaching metals from ores during the integration of underground processes of oil pyrolysis and leaching of metals from oil-bearing rocks, combining the possibilities of mine-borehole development and physicochemical leaching processes, are described. The advantages of the new technology are formulated. The obtained results provide an answer to the objectives of the study and indicate the achievement of the goal.

*Key words:* oil production; bitumen; rock; metal recovery; leaching

**Введение**

Среди важнейших видов энергетического минерального сырья главное место занимают нефть и газ. За счет углеводородов обеспечивается до 2/3 потребности в энергетических ресурсах. Нефть и газ являются энергоносителями двигательной техники и сырьем для химической промышленности с получением жизнеобеспечивающих продуктов [1–3].

До XVIII в. нефть добывали из ям глубиной 1,5–2 м и колодцев. В конце XVIII в. освоен метод вытеснения нефти из скважины сжатым воздухом или газом. Во второй половине XIX в. основной объем нефти в мире добывали из оборудованных подъемными приспособлениями скважин.

Актуальность темы обеспечения человеческого сообщества углеводородным минеральным сырьем повышается демографическими процессами и истощением месторождений в комфортных для добычи районах.

В литературе по исследуемой теме рассматриваются преимущественно вопросы совершенствования процессов добычи, но необходимость увеличения объемов добычи углеводородов формирует проблему добычи как поиск ранее неизвестных резервов.

Целью исследований становится не совершенствование известных технологий, а разработка принципиально новых решений, которые появляются путем решения комплекса задач.

**Объект и методы исследования**

Объект исследования — месторождение нефти и процессы его разработки. Основу метода исследования составляют анализ применяемой технологии добычи нефти и прогнозная оценка эффективности ее совершенствования путем комплексирования с ранее неизвестной технологией. Критерием эффективности вариантов добычи является выход полезных компонентов.

**Результаты**

Битум и сланцевая нефть составляют большую часть нефтяных ресурсов Земли. Разведанные запасы горючих сланцев (около $6{,}5 \cdot 10^{13}$ т ) в пересчете на эквивалентную нефть составляют 630 млрд т, что значительно превышает ресурсы жидких углеводородов (280 млрд т) [4–6].

Технология добычи нефти из твердых пород переживает начальный этап развития. Себестоимость добычи существенно превышает себестоимость добычи традиционным способом, поэтому запасы сланцевой нефти расценивают пока только в качестве резерва энергоресурсов.

С начала XX в. месторождения битумов разрабатывают в США, Италии, Тринидаде, Германии, Франции, Венесуэле. В СССР к началу 80-х гг. эксплуатировали Садкинское и Бориславское месторождения. Перспективы добычи битумов связаны с освоением процесса извлечения из них нефти.

Насыщенная нефтью горная порода отделяется от массива, а содержащаяся в ней нефть экстрагируется растворителями, паром или горячей водой с добавкой поверхностно-активных веществ, что позволяет извлекать до 80–90 % углеводородов.

Традиционные технологии добычи углеводородных руд, как и руд других полезных ископаемых, характеризуются извлечением из недр сырья с образованием пустот [7–10]. Потери углеводородного сырья происходят при использовании систем разработки с оставляемыми для управления массивом целиками.

Вариантом получения полезных компонентов без извлечения руд из недр на земную поверхность является метод растворения нефти в пласте (рис. 1).

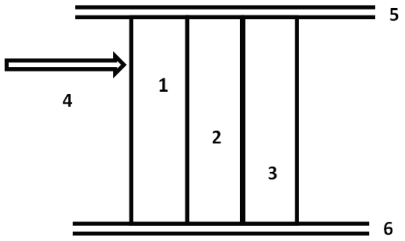


*Рис. 1.* ***Схема добычи нефти растворением:*** *1 — зона первичного растворения; 2 — зона вторичного растворения; 3 — нетронутый массив углеводородов; 4 — поток растворителей; 5 — верхний горизонт; 6 — нижний горизонт*

Возможности растворения твердого углеводородного сырья ограничены, поэтому появились технологии с интенсификацией добычных процессов химико-физическими методами. Такие технологии обеспечивают более качественное извлечение минерального сырья из недр, но в большей мере, чем традиционные технологии, нуждаются в обосновании технической возможности и экономической целесообразности [11–13].

Характер разрушения химических связей, содержащих нефть горных пород, при воздействии на них зависит от скорости протекания процессов образования жидких, газовых и твердых продуктов.

Разработка месторождений, содержащих нефть горных пород, традиционным способом характеризуется образованием пустот в земной коре и потерями полезных компонентов в целиках. Традиционные технологии эффективны за счет выборочной отработки участков месторождений, что сопровождается повышенными потерями.

Альтернативу традиционным технологиям разработки составляют технологии добычи нефти без извлечения на земную поверхность, характеризуемые такими признакам, как переработка минерального сырья в недрах и участие хвостов переработки в сохранении устойчивости массива. Одним из преимуществ метода является возможность отрабатывать недоступные для традиционной технологии запасы.

Не менее важной проблемой человеческого сообщества является и обеспечение его запросов на цветные, редкие и благородные металлы. В настоящее время эта проблема решается путем реализации пока еще не используемых резервов, в том числе за счет вовлечения в производство отходов традиционного производства [14–17].

Наибольшие успехи достигнуты при подземном выщелачивании ряда наиболее вскрываемых физико-химическими процессами металлов: меди, урана, золота и цинка. Технология включает в себя отделение руд от массива, приготовление и транспортирование выщелачивающих реагентов, а также переработку растворов.

Уран из скальных руд выщелачивают с середины прошлого века на месторождениях Средней Азии. На Северном Кавказе извлекали в раствор до 60 % урана. В Казахстане извлечение металла достигало 70 %. На рудниках ОАО «ППГХО» подземным выщелачиванием добывают более 30 % металла с извлечением около 65 %.

Увеличивается объем переработки запасов техногенных месторождений выщелачиванием металлов из руд на ряде предприятий (таблица).

***Техногенные и разрабатываемые выщелачиванием месторождения***

| Металл | Месторождение, технология | Регион |
|---|---|---|
| Медь | Техногенные месторождения | Свердловская область (2)<br>Мурманская область (1)<br>Красноярский край (1) |
| | Гумешевское,<br>подземное выщелачивание | Свердловская область |
| Никель — кобальт | Аллареченское | Мурманская область |
| | Хвостохранилище № 1<br>Озеро Барьерное | Красноярский край |
| Цинк | Шлакоотвал | Свердловская область |
| Олово | Техногенные месторождения | |
| Вольфрам | Барун-Нарынское | Республика Бурятия |
| | Спокойнинское | Забайкальский край |
| Молибден с ураном | Стрельцовское,<br>подземное и кучное выщелачивание | Читинская область |
| Титан | Кручининское,<br>перспектива скважинного<br>выщелачивания | Забайкальский край |

Усиливается тенденция извлечения металлов из некондиционного для традиционных методов переработки сырья.

Резервом экономики является вовлечение в производство некондиционных ресурсов путем комбинирования новых технологий с традиционными технологиями.

Принципиальное отличие новой ресурсосберегающей безлюдной технологии заключается в комплексировании подземных процессов пиролиза нефти и выщелачивания металлов из горных пород.

Вариант новой технологии реализуется сочетанием процессов шахтно-скважинной разработки и интенсификации физико-химических процессов выщелачивания.

Вскрытие и подготовка месторождений твердых углеводородов к эксплуатации включают комплекс капитальных и подготовительных выработок, в том числе участковые технологические камеры и систему скважин. При повышении температуры до 400–700 °С в массиве создаются условия для крекинга и выпаривания легких фракций нефти.

Область применения технологии с выпариванием нефти ограничивается высокой стоимостью процессов, которая может быть уменьшена путем комбинирования с реагентным выщелачиванием металлов (рис. 2). Черным цветом обозначен путь пара на первой стадии извлечения нефти, а красным — путь раствора реагентов на второй стадии — выщелачивания металлов.

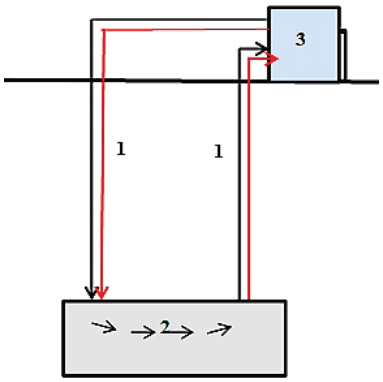


*Рис. 2.* ***Комбинированная технология с температурным выпариванием нефти и реагентным выщелачиванием металлов:*** *1 — скважины; 2 — залежь; 3 — участок переработки растворов*

При температуре 450 °С нефтепродукты, газ и кокс разделяются. При пиролизе нефти разрабатываемый массив испытывает напряжения от тектонических, гравитационных и термических нагрузок, в результате чего прилегающие к участку разработки породы разрушаются, увеличивая проницаемость выщелачивающих растворов.

Нефть содержит более пятидесяти дефицитных и ценных металлов, в том числе %: ванадий — 0,2 %; хром — 0,01 %; цинк — 0,01 %; марганец — 0,006 %; медь — 0,05 %; молибден — 0,04–0,075 % и другие металлы. Рений, молибден, ванадий и никель находятся в связи с органическим веществом, а медь, серебро, кадмий, селен и висмут коррелируют с сульфидами. При разработке месторождений твердых углеводородных руд появляется возможность получения металлов, что уменьшает затраты и делает продукцию предприятия конкурентоспособной.

В процессе извлечения углеродосодержащей компоненты в породной матрице вскрываются доступные для выщелачивания металлы, перевод которых в мобильную фазу осуществляется хорошо освоенной на предприятиях урановой отрасли технологией подземного и скважинного выщелачивания.

В ходе проникновения растворов выщелачивания в микротрещины породы дезинтегрируются и разрыхляются с заполнением выработанного пространства. Получение аналогичного количества металлов традиционным способом на земной поверхности сопряжено с увеличением на земной поверхности объемов хвостов переработки.

Выщелачивание хвостов термической переработки углеводородов в подземных условиях, кроме расширения объемов производства, уменьшает деформации породных массивов и земной поверхности над ними, поэтому комбинированную технологию с полным основанием можно считать природоохранной и ресурсосберегающей [18–20].

**Выводы**

Комбинирование возможностей пиролиза углеводородов и химического выщелачивания металлов из хвостов термообработки открывает перспективы новых возможностей решения основных задач горного производства, в том числе сохранность земной поверхности и уменьшение объемов хвостов переработки на земной поверхности. Поэтому предложенные решения проблемы обеспечения нефтью могут быть востребованы при разработке нефтяных месторождений в соответствующих условиях.

***Библиографический список***


1. Голик В. И., Полухин О. Н. Природоохранные геотехнологии в горном деле: учеб. пособие. – Белгород: ВНЦ РАН, 2013. – 284 с.
2. Дмитрак Ю. В., Камнев Е. Н. АО «Ведущий проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт промышленной технологии» — Путь длиной в 65 лет // Горный журнал. – 2016. – № 3. – С. 6–12. DOI: 10.17580/gzh.2016.03.01
3. Каплунов Д. Р., Рыльникова М. В., Радченко Д. Н. Научно-методические основы проектирования экологически сбалансированного цикла комплексного освоения и сохранения недр Земли // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – № S4–2. – С. 5–11.
4. Перспективы выщелачивания металлов при добыче нефти / В. И. Комащенко [и др.] // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2018. – № 2. – С. 59–63. DOI: 10.30713/2411-7013-2018-2-59-63
5. Ghorbani Y., Franzidis J.-P., Petersen J. Heap leaching technology — current state, innovations and future directions: A review // Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review. – 2016. – Vol. 37, Issue 2. – P. 73–119. DOI: 10.1080/08827508.2015.1115990
6. De Oliveira D. M., Sobral L. G. S., Olson G. J., Olson S. B. Acid leaching of a copper ore by sulphur-oxidizing microorganisms // Hydrometallurgy. – 2014. – Vol. 147–148. – P. 223–227. DOI: 10.1016/j.hydromet.2014.05.019
7. Голик В. И., Воробьев А. Е., Козырев Е. Н. Минеральные богатства Северного Кавказа // Горный журнал. – 2000. – № 6. – С. 48–50.
8. Голик В. И., Ермоленко А. А., Лазовский В. Ф. Организационно-экономические проблемы использования природных ресурсов Южного Федерального округа: учеб. пособие для вузов. Краснодар: Изд-во ЮИМ, 2008. – 328 с.
9. Sinclair L., Thompson J. In situ leaching of copper: Challenges and future prospects // Hydrometallurgy. – 2015. – Vol. 157. – P. 306–324. DOI: 10.1016/j.hydromet.2015.08.022
10. Der Braunkohlentagebau — Bedeutung, Planung, Betrieb, Technik, Umwelt / Edited by Ch. Niemann-Delius [et al.]. – Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2009. – 605 p. DOI: 10.1007/978-3-540-78401-2
11. Цидаев Б. С., Логачев А. В., Голик В. И. Повышение рентабельности добычи нефти путем диверсификации технологий // Устойчивое развитие горных территорий. – 2019. – Т. 11, № 1 (39). – С. 98–104.
12. Голик В.И. Концептуальные подходы к созданию мало- и безотходного горнорудного производства на основе комбинирования физико-технических и физико-химических геотехнологий // Горный журнал. – 2013. – № 5. – С. 93–97.
13. Логачев А. В., Голик В. И. К теории выщелачивания золота из некондиционного первичного и вторичного сырья // Обогащение руд. – 2009. – № 2. – С. 18–20.
14. Ляшенко В. И., Голик В. И., Козырев Е. Н. Комбинированные технологии добычи полезных ископаемых с подземным выщелачиванием // Горный журнал. – 2008. – № 12. – С. 37–40.

15. Голик В. И., Дмитрак Ю. В., Бурдзиева О. Г. Природное выщелачивание металлов при разработке месторождений Северного Кавказа // Экология промышленного производства. – 2018. – № 2 (102). – С. 35–41.

16. Ресурсосберегающие аспекты подземного выщелачивания / В. И. Голик [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2018. – № S25. – С. 5–17. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-6-25-5-17

17. Mining a coal seam below a heating goaf with a force auxiliary ventilation system at Longhua underground coal mine, China / Wang G. [et al.] // International Journal of Mining Science and Technology. – 2015. – Vol. 25, Issue 1. – P. 67–72. DOI: 10.1016/j.ijmst.2014.11.009

18. Коваленко И. В., Сохошко С. К. Моделирование разработки нефтяных оторочек многопластового залегания // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2018. – № 3. – С. 50–54. DOI: 10.31660/0445-0108-2018-3-50-54

19. Поднебесных А. В. Перспективы промышленной разработки проявлений битумов рифтовых впадин на территории Забайкалья // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2017. – № 1. – С. 38–42. DOI: 10.31660/0445-0108-2017-1-38-42

20. Бембель Р. М., Сухов Л. А., Щетинин И. А. Пути повышения геологической эффективности освоения месторождений углеводородов в Западной Сибири // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2017. – № 6. – С. 6–10. DOI: 10.31660/0445-0108-2017-6-6-10

***References***

1. Golik ,V. I., & Poluhin, O. N. (2013). Prirodoohrannye geotekhnologii v gornom dele. Belgorod: VNC RAN Publ., 284 p. (In Russian).

2. Dmitrak, Yu. V. & Kamnev, E. N. (2016). The Leading Research and Design Institute of Industrial Technologies - A long way in 65 years. Gornyi Zhurnal, (3), pp. 6-12. (In Russian). DOI: 10.17580/gzh.2016.03.01

3. Kaplunov, D. R., Rylnikova, M. V., Radchenko, D. N. (2015). Scientific and methodological bases of design of ecologically balanced cycle of comprehensive exploitation and conservation of the Earth's reserves. Gornyi Zhurnal, (S4-2), pp. 5-11. (In Russian).

4. Komashchenko, V. I., Martynov, V. G., Golik, V. I., & Miletenko, N. V. (2018). Prospects for the leaching of metals in oil, (2), pp. 59-63. (In English). DOI: 10.30713/2411-7013-2018-2-59-63

5. Ghorbani, Y., Franzidis, J.-P., & Petersen, J. (2016). Heap leaching technology - current state, innovations and future directions: A review. Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review, 37(2), pp. 73-119. (In English). DOI: 10.1080/08827508.2015.1115990

6. De Oliveira, D. M., Sobral, L. G. S., Olson, G. J., & Olson S. B. (2014). Acid leaching of a copper ore by sulphur-oxidizing microorganisms. Hydrometallurgy, 147-148, pp. 223-227. (In English). DOI: 10.1016/j.hydromet.2014.05.019

7. Golik, V. I., Vorob'ev, A. E., Kozyrev, E. N. (2000). Mineral'nye bogatstva Severnogo Kavkaza. Gornyi Zhurnal, (6), pp. 48-50. (In Russian).

8. Golik, V. I., Ermolenko, A. A., Lazovskiy, V. F. (2008). Organizatsionno-ekonomicheskie problemy ispol'zovaniya prirodnykh resursov Yuzhnogo Federal'nogo okruga. Krasnodar, YuIM Publ., 328 p. (In Russian).

9. Sinclair, L., & Thompson, J. (2015). In situ leaching of copper: Challenges and future prospects. Hydrometallurgy, 157, pp. 306-324. (In English). DOI: 10.1016/j.hydromet.2015.08.022

10. Niemann-Delius Ch., Stoll R. D., Drebenstedt C., & Müllensiefen K. (Eds.). (2009). Der Braunkohlentagebau - Bedeutung, Planung, Betrieb, Technik, Umwelt. Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag, 605 p. (In German). DOI: 10.1007/978-3-540-78401-2

11. Tsidaev, B. S., Logachev, A. V., & Golik, V. I. (2019). Profitability increase for oil production by diversification of technologies, 11(1(39)), pp. 98-104. (In Russian).

12. Golik, V. I. (2013). Kontseptual'nye podkhody k sozdaniyu malo- i bezotkhodnogo gornorudnogo proizvodstva na osnove kombinirovaniya fiziko-tekhnicheskikh i fiziko-khimicheskikh geotekhnologiy. Gornyi Zhurnal, (5), pp. 93-97. (In Russian).

13. Logachyov, A. V., & Golik, V. I. (2009). To the theory of gold leaching from non-standard fresh and secondary raw materials. Obogashchenie Rud, (2), pp. 18-20. (In Russian).

14. Lyashenko, V. I., Golik, V. I., & Kozyrev, E. N. (2008). Kombinirovannye tekhnologii dobychi poleznykh iskopaemykh s podzemnym vyshchelachivaniem. Gornyi Zhurnal, (12), pp. 37-40. (In Russian).

15. Golik, V. I., Dmitrak, Yu. V., & Burdzieva, O. G. (2018). Natural leaching of metals during mining of the North Caucasus. Industrial Ecology, (2(102)), pp. 35-41. (In Russian).
16. Golik, V.I., Gegelashvili, M. N., Maksimov, R. N., Badtiev, B. P., & Versilov, S. O. (2018). Resource-saving aspects of underground leaching. Mining informational and analytical bulletin, (S25), pp. 5-17. (In Russian). DOI: 10.25018/0236-1493-2018-6-25-5-17
17. Wang, G., Xie, J., Xue, Sh., & Wang, H. (2015). Mining a coal seam below a heating goaf with a force auxiliary ventilation system at Longhua underground coal mine, China. International Journal of Mining Science and Technology, 25(1), pp. 67-72. (In English). DOI: 10.1016/j.ijmst.2014.11.009
18. Kovalenko, I. V., Sokhoshko, S. K. (2018). Modeling of the oil rims development of multi-zone oil rim reservoir. Oil and Gas Studies, (3), pp. 50-54. (In Russian). DOI: 10.31660/0445-0108-2018-3-50-54
19. Podnebesnykh, A. V. (2017). Perspectives of developing bitumen seeps of the Baikal rift valley. Oil and Gas Studies, (1), pp. 38-42. (In Russian). DOI: 10.31660/0445-0108-2017-1-38-42.
20. Bembel, R. M., Sukhov, V. A., & Schetinin, I. A. (2017). Ways of increasing geological efficiency of hydrocarbon fields development in Western Siberia. Oil and Gas Studies, (6), pp. 6-10. DOI: 10.31660/0445-0108-2017-6-6-10

***Сведения об авторах***

***Цидаев Батраз Саламович,*** *к. т. н., проректор, заведующий кафедрой нефтегазового дела, Северо-Кавказский горный металлургический институт (государственный технологический университет), г. Владикавказ*

***Голик Владимир Иванович,*** *д. т. н., профессор кафедры горного дела, Северо-Кавказский горный металлургический институт (государственный технологический университет), г. Владикавказ*

***Майер Андрей Владимирович,*** *к. т. н., директор высшей нефтяной школы института нефти и газа, Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск, e-mail: mayer-14@mail.ru*

***Information about the authors***

***Batraz S. Tsidaev,*** *Candidate of Engineering, Vice-rector, Head of the Department of Oil and Gas Business, North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University), Vladikavkaz*

***Vladimir I. Golik,*** *Doctor of Engineering, Professor at the Department of Mining, North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University), Vladikavkaz*

***Andrey V. Mayer,*** *Candidate of Engineering, Director of the Higher Oil School of the Institute of Oil and Gas, Ugra State University, Khanty-Mansiysk, e-mail: mayer-14@mail.ru*