

**ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ПОРОД-КОЛЛЕКТОРОВ**

Глебова Любовь Владимировна, кандидат геолого-минералогических наук, старший преподаватель, Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Российская Федерация, 119234, г. Москва, ул. Воробьевы горы, 1, e-mail: lvglebova@mail.ru

Кротова Алина Григорьевна, студент, Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Российская Федерация, 119234, г. Москва, ул. Воробьевы горы, 1, e-mail: agkrotova@gmail.com

Нгуний Мбиао Деррик, аспирант, Астраханский государственный университет, Российская Федерация, 414000, г. Астрахань, пл. Шаумяна, 1, e-mail: Geologi2007@yandex.ru

Нефтегазовая отрасль тесно связана с экологическими аспектами правил ведения геологоразведочных и эксплуатационных работ. Условия труда всех специалистов на промысле и сотрудников лабораторий должны соответствовать нормам и сохранять жизнь и здоровье. В рамках постоянно растущего интереса к новейшим отраслевым технологиям стала важна и геоэкологическая сторона научно-технического прогресса. Цифровые технологии становятся интересны тем, что они, помимо оптимизации работ по добыче углеводородного сырья на месторождениях нефти и газа, способны обеспечить сотрудников лабораторий наиболее эффективными и наименее токсичными условиями для исследований. При освоении нефтяных и газовых месторождений технология «Цифровой керн» является незаменимой по ряду причин, таких как возможность наиболее быстрого изучения новых месторождений, в том числе кернавого материала, уточнение фильтрационно-ёмкостных свойств коллекторов на микроуровне, составление наиболее эффективного варианта на разработку месторождений, а также геолого-технических мероприятий.

Ключевые слова: геоэкологический комплекс, определение физико-химических характеристик, цифровые технологии, технология «Цифровой керн», геоэкологическая цифровая модель, токсичный керосин, образцы горных пород, химические вещества, геолого-технические мероприятия, механизм вытеснения, увеличение нефтеотдачи пластов

**GEOLOGICAL COMPLEX OF COMPUTATIONAL SYSTEMS
OF DETERMINING THE PHYSICAL AND CHEMICAL CHARACTERISTICS
OF BREEDS-COLLECTORS**

Glebova Lyubov V., Ph. D. in Geology and Mineralogy, Senior Lecturer, Lomonosov Moscow State University, 1 Vorobevy gory St., Moscow, 119234, Russian Federation, e-mail: lvglebova@mail.ru

Krotova Alina G., student, Lomonosov Moscow State University, 1 Vorobevy gory St., Moscow, 119234, Russian Federation, e-mail: agkrotova@gmail.com

Nguniy Mbiao Derrick, postgraduate student, Astrakhan State University, 1 Shaumyana Sq., Astrakhan, 414000, Russian Federation, e-mail: Geologi2007@yandex.ru

Any industrial sector, and especially the oil and gas industry, has to deal with environmental aspects of the rules for conducting geological exploration and production operations. In addition, the working conditions of all employees must be strictly observed and not jeopardize their health. As part of the ever-growing interest in the latest industry technologies, the geoecological side of scientific and technological progress has become important. Digital technologies are becoming most interesting in that, in addition to optimizing production operations in the oil and gas fields, they are able to provide laboratory staff with the most effective and least harmful research opportunities. For the development of oil and gas fields, the Digital Core is important for a number of reasons: the ability to quickly explore new fields, including core material; clarify the reservoir properties of reservoirs at the micro level; draw up the most effective option for field development, as well as geological and technical measures.

Keywords: geoecological complex, determination of physicochemical characteristics, digital technologies, Digital Core technology, geoecological digital model, toxic kerosene, rock samples, chemicals, geological and technical measures, displacement mechanism, enhanced oil recovery

В нефтегазовой отрасли ведущее место занимает разработка и геоэкологические аспекты освоения месторождений нефти и газа. Геолого-промысловые службы обеспечивают применение геолого-технических мероприятий, включающих методы интенсификации отбора углеводородного сырья, необходимые для рациональной и экономически рентабельной работы промысла, контроль показателей разработки и их анализ. С увеличением внимания к нетрадиционным коллекторам и трудно извлекаемым запасам углеводородов стала важна и научно-техническая сторона отрасли.

Анализ разработки является неотъемлемой частью проектного документа, учитывающего наиболее успешную систему разработки для каждого месторождения. В результате анализа должны быть выделены основные пути развития месторождения, причины текущих процессов в залежи, обоснованы методы и геолого-технические мероприятия по регулированию работы в целом.

Ввиду нынешнего развития отрасли учёных интересует разработка и внедрение новейших геоэкологических комплексов и цифровых технологий, служащих одним из основных вспомогательных инструментов для лабораторных исследований ядра, уточнения механизмов вытеснения, а также возможностей увеличения нефтеотдачи пластов.

Геоэкологические цифровые технологии в настоящее время активно развиваются и являются неотъемлемой частью нефтегазовой промышленности. Применение современных геоэкологических комплексов существенно ускоряет процесс изучения ядра, обеспечивая более эффективное исследование структуры, свойств и характеристик образцов, повышает точность оценки фильтрационно-ёмкостных свойств пород.

Успех разработки нефтяных и газовых месторождений зависит от выбора оптимальных режимов разработки, методов интенсификации добычи нефти и методов увеличения нефтеотдачи пласта. Стоит отметить, что новейшие цифровые технологии являются дополнением к традиционным лабораторным исследованиям, но не заменяют их полностью.

Геоэкологическая технология «Цифровой ядро» представляет собой комплекс экспериментальных и вычислительных средств исследования пород-коллекторов нефти и газа для определения физико-химических и гидродинамических характеристик на поровом уровне (рис.).

Данная технология позволяет создать трёхмерную томографическую модель горной породы; цифровую модель поведения и взаимодействия пластовых флюидов на микроуровне «флюид – флюид» и «флюид – порода»; расчёт посредством моделирования гидродинамических и петрофизических свойств на поровом уровне.

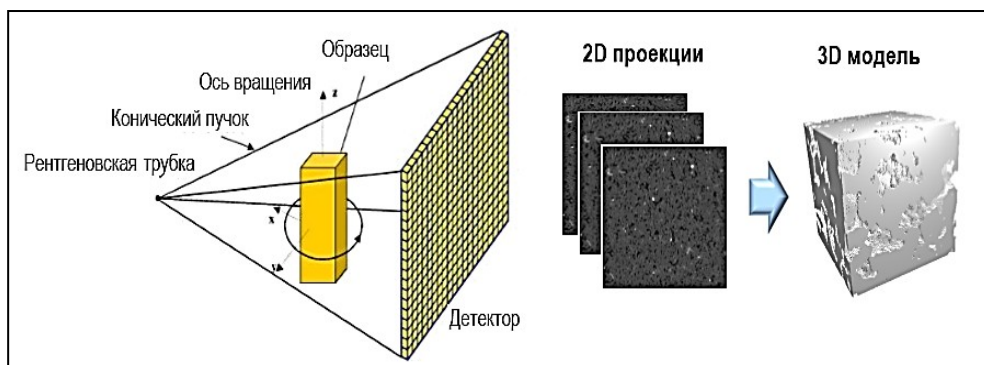


Рис. Рентгеновская томография и реконструкция микроструктуры образца

Построение геоэкологической цифровой модели флюидов происходит с использованием лабораторных исследований – физико-химических, термодинамических, реологических свойств пластовых флюидов и агентов воздействия, а также исследований их взаимодействия с породами. Результаты лабораторных исследований

преобразуются в цифровые исходные данные для проведения гидродинамических и петрофизических расчётов на моделях.

Нужно отметить, что бурение скважин с отбором керна является более дорогостоящим процессом в сравнении с бурением скважин без отбора керна. Изучаемое научное направление способно существенно сократить затраты на этапе бурения путём создания общей базы данных керновых исследований на цифровых моделях и использования метода аналогий.

В таблице приведены возможности использования результатов моделирования «Цифрового керна» на различных этапах проектирования и стадиях разработки нефтегазовых месторождений.

Таблица

Применение геоэкологического цифрового анализа керна	
Этапы проектирования	Применение
Создание базы данных постоянно действующей геолого-технологической модели	Систематизация и сохранение результатов томографии и численных расчётов
Построение цифровой геологической модели, подсчёт запасов	Расширение базы интерпретации геофизических исследований скважин
Построение цифровой гидродинамической модели	Уточнение фильтрационно-ёмкостных свойств
Выбор варианта разработки	Оптимизация метода воздействия на пласт с учётом эффективности на микроуровне
Планирование обработки призабойной зоны пласта	Оптимизация вариантов химической обработки призабойной зоны

Впервые цифровой анализ керна с прямым гидродинамическим моделированием был использован для изучения фильтрационно-ёмкостных свойств (ФЕС) ачимовской свиты группой сотрудников московского научно-исследовательского центра «Шлюмберже», Сколковского института науки и технологий и компаниями «Газпромнефть НТЦ» и «Газпромнефть-ГЕО». Сканирование образцов керна производилось рентгеновским микротомографом.

Геоэкологический комплекс вычислительных средств позволяет моделировать сложное геологическое строение, а именно палеоврезы древних русел, представленные терригенными отложениями; фильтрационно-ёмкостные свойства пород при разработке пластов средней и низкой проницаемости; макро- и микронеоднородности, что в значительной степени помогает проектировать геолого-технические мероприятия на месторождении. Исследования на геоэкологическом комплексе проводились компаниями «ДеГольер энд МакНотон», «Шлюмберже» и Московским государственным университетом имени М. В. Ломоносова.

На основе построенных цифровых моделей геометрии пустотного пространства пород и гидродинамических расчётов в масштабе пор были установлены механизмы вытеснения нефти из микронеоднородной пористой среды при полимерном заводнении в зависимости от типа полимера и его концентрации. Геоэкологические исследования привели к оптимизации применения данного метода, уменьшению неопределённости и экологических рисков, уменьшению временных и экономических затрат.

Также объектом геоэкологического исследования на образцах керна с применением технологий цифрового гидродинамического моделирования стал метод водогазового воздействия (ВГВ). Повышение нефтеотдачи пласта при осуществлении ВГВ обусловлено вытеснением нефти как на макро-, так и на микроуровне пластов, вследствие чего увеличивается коэффициент охвата пласта и коэффициент вытеснения. Коэффициент охвата пласта $K_{охв}$ увеличивается изолированием из процесса вытеснения высокопроницаемых участков трёхфазной смесью «газ – вода – нефть», изменяя тем самым направления фильтрационных потоков на участке с низкой проницаемостью.

В результате геоэкологических исследований было выполнено моделирование процесса вытеснения нефти в микромасштабе пористой среды при водогазовом воздействии с использованием метода цифрового анализа керн. Геоэкологический комплекс вычислительных средств позволил провести исследования на образцах керн одного из пластов, отличающихся структурно-текстурными особенностями порового пространства, гидрофильными и гидрофобными случаями смачиваемости образцов.

На основе полученных результатов были установлены механизмы вытеснения нефти из микронеоднородной пористой среды при ВГВ в фазах закачки воды и газа, определено влияние типа смачиваемости на процесс вытеснения. Это доказывает, что цифровой анализ керн является эффективным методом изучения механизмов вытеснения нефти в микромасштабе пористых сред на примерах полимерного и водогазового воздействия.

Характеристики отдельных коллекторов на макроуровне не отвечают критериям применимости методов полимерного и ВГВ на пласты и не были учтены в программе работ по интенсификации добычи нефти и повышению нефтеотдачи пластов в принятом варианте разработки. Результаты исследований геоэкологического комплекса вычислительных средств более детально характеризуют пласты-коллекторы и доказывают применение полимерного и ВГВ.

Успешные результаты изучения одного из пластов с применением геоэкологического комплекса вычислительных средств являются доказательной базой применения «Цифрового керн» к данному типу отложений, вследствие чего можно рекомендовать применение данной технологии для других пластов и объектов разработки с целью оптимизации проектирования процесса разработки месторождения.

В условиях реальных лабораторных исследований, где керновые исследования проводятся с использованием токсичного керосина, порошков и образцов горных пород, пыль которых также оказывает влияние на здоровье человека, и других химических веществ, технология «Цифровой керн» вполне обоснованно может рассматриваться в рамках геоэкологического направления.

Как уже отмечалось ранее, большой интерес геоэкологический комплекс вычислительных средств представляет в создании общей базы данных с исследованиями по месторождениям. При поиске и открытии новых месторождений трудности возникают на начальном этапе, когда территория ещё не изучена в полной мере.

На примере хорошо изученных аналогов такая база данных поможет сократить время полевых работ и время ожидания результатов лабораторных исследований, оптимизировать выбор планируемых геолого-технических мероприятий, снизить экономические и экологические риски, а главное – избежать аварий и осложнений, имевших место быть на месторождениях в прошлом. Ввиду всеобщего развития цифровых технологий и их внедрения в нефтегазовую промышленность от полевого до офисного оборудования, геоэкологический комплекс вычислительных средств с технологией «Цифровой керн» обладает неоспоримым потенциалом развития и преимуществом перед классическими методами исследования.

Список литературы

1. Абалаков, А. Д. Экологическая геология / А. Д. Абалаков. – Иркутск : Иркутский гос. ун-т, 2007. – С. 267.
2. Власюк, В. И. Бурение и опробование разведочных скважин / В. И. Власюк, А. Г. Калинин. – Москва : ЦентрлитНефтеГаз, 2008.
3. Воробьев, К. А. Цифровизация нефтяной промышленности: технология «цифровой» керн / К. А. Воробьев, А. Е. Воробьев, Х. Тчаро. – Режим доступа: <https://esj.today/PDF/78NZVN318.pdf>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
4. Гавура, В. Е. Геология и разработка нефтяных и газонефтяных месторождений / В. Е. Гавура. – Москва : Всероссийский науч.-исслед. ин-т организации, управления и экономики нефтегазовой промышленности, 1995. – С. 496.

5. Галкин, С. В. Нефтегазопромисловая геология / С. В. Галкин, Г. В. Плюснин. – Пермь : Пермский гос. тех. ун-т, 2010. – С. 96.
6. Иванова, М. М. Нефтегазопромисловая геология / М. М. Иванова, И. П. Чоловский, Ю. И. Брагин. – Москва : Недра-Бизнесцентр, 2000.
7. Короновский, Н. В. Геология / Н. В. Короновский, Н. А. Ясаманов. – Москва : Академия, 2011. – С. 448.
8. Недоливко, Н. М. Исследование керна нефтегазовых скважин / Н. М. Недоливко. – Томск : Томский политех. ун-т, 2006. – С. 170.
9. Нестерова, Е. М. Геология, геоэкология, эволюционная география / Е. М. Нестерова, В. А. Снытко. Санкт-Петербург : Российский гос. пед. ун-т им. А. И. Герцена, 2014. – Т. 13. – С. 304.
10. Трофимов, В. Т. Экологическая геология / В. Т. Трофимов, Д. Г. Зилинг. – Москва : Геоинформмарк, 2002. – С. 415.
11. Хан, В. К. CoreFlow – Цифровой анализ керна и флюидов / В. К. Хан, О. Ю. Динариев, Н. В. Евсеев. Москва : Московский науч.-исслед. ин-т Schlumberger, 2019.
12. Чоловский, И. П. Спутник нефтегазопромислового геолога / И. П. Чоловский. – Москва : Недра, 1989. – С. 376.
13. Чоловский, И. П. Нефтегазопромисловая геология залежей углеводородов / И. П. Чоловский, М. М. Иванова, Ю. И. Брагин. – Москва : Нефть и газ, 2006. – С. 680.
14. Шандрыгин, Ф. Механизм вытеснения маловязкой нефти из микрогетерогенной пористой среды при ВГВ / Ф. Шандрыгин, В. Шелепов, Р. Рамазанов и др. // Материалы Российской нефтегазовой технической конференции SPE, 26–28 октября. – Москва, 2015.
15. Шандрыгин, Ф. Механизм вытеснения маловязкой нефти из микрогетерогенной пористой среды полимерными растворами / Ф. Шандрыгин, В. Шелепов, Р. Рамазанов и др. // Материалы Российской нефтегазовой технической конференции SPE, 25–26 октября. – Москва, 2016.
16. Якимчук, И. Изучение фильтрационно-емкостных свойств ачимовских пород с помощью цифрового анализа керна / И. Якимчук, Н. Евсеев, Д. Коробков и др. // Материалы Российской нефтегазовой технической конференции SPE, 22–24 октября. – Москва, 2019.

References

1. Abalakov, A. D. *Ekologicheskaya geologiya* [Ecological Geology]. Irkutsk, Irkutsk State University Publ., 2007, p. 267.
2. Vlasyuk, V. I., Kalinin, A. G. *Burenie i oprobovanie razvedochnykh skvazhin* [Drilling and testing of exploration wells]. Moscow, TsentrLitNefteGaz Publ., 2008.
3. Vorobev, K. A., Vorobev, A. Ye., Tcharo, Kh. *Tsifrovizatsiya neftyanoy promyshlennosti: tekhnologiya "tsifrovoy" kern* [Digitalization of the oil industry: "digital" core technology]. Available at: <https://esj.today/PDF/78NZVN318.pdf>.
4. Gavura, V. Ye. *Geologiya i razrabotka neftyanykh i gazonefityanykh mestorozhdeniy* [Geology and development of oil and gas-oil fields]. Moscow, All-Russian Research Institute of Organization, Management and Economics of the Oil and Gas Industry Publ., 1995, p. 496.
5. Galkin, S. V., Plyusnin, G. V. *Neftegazopromyslovaya geologiya* [Oil and gas field geology]. Perm, Perm State Technical University Publ., 2010, p. 96.
6. Ivanova, M. M., Cholovskiy, I. P., Bragin, Yu. I. *Neftegazopromyslovaya geologiya* [Oil and gas field geology]. Moscow, Nedra-Biznestsentr Publ., 2000.
7. Koronovskiy, N. V., Yasamanov, N. A. *Geologiya* [Geology]. Moscow, Akademiya Publ., 2011, p. 448.
8. Nedolivko, N. M. *Issledovanie kerna neftegazovykh skvazhin* [Research of the core of oil and gas wells]. Tomsk, Tomsk Polytechnic University Publ., 2006, p. 170.
9. Nesterova, Ye. M., Snytko, V. A. *Geologiya, geoekologiya, evolyutsionnaya geografiya* [Geology, geoecology, evolutionary geography]. St. Petersburg, Russian State Pedagogical University. A. I. Herzen Publ., 2014, vol. 13, p. 304.
10. Trofimov, V. T., Ziling, D. G. *Ekologicheskaya geologiya* [Ecological Geology]. Moscow, GeoInformmark Publ., 2002, p. 415.
11. Khan, V. K., Dinariev, O. Yu., Yevseev, N. V. *CoreFlow – Tsifrovoy analiz kerna i flyuidov* [CoreFlow – Digital analysis of core and fluids]. Moscow, Moscow Research Institute Schlumberger Publ., 2019.
12. Cholovskiy, I. P. *Sputnik neftegazopromyslovogo geologa* [Sputnik of the oil and gas field geologist]. Moscow, Nedra Publ., 1989, p. 376.

13. Cholovskiy, I. P., Ivavova, M. M., Brarin, Yu. I. *Neftegazopromyslovaya geologiya zalezhey uglevodorodov* [Oil and gas field geology of hydrocarbon deposits]. Moscow, Neft i gaz Publ., 2006, p. 680.

14. Shandrygin, F., Shelepov, V., Ramazanov, R. et al. Mekhanizm vytesneniya malovyazkoy nefti iz mikroneodnorodnoy poristoy sredy pri VGV [The mechanism of displacement of low-viscosity oil from a microheterogeneous porous medium during WAG]. *Materialy Rossiyskoy neftegazovoy tekhnicheskoy konferentsii SPE, 26–28 oktyabrya* [Proceedings of the SPE Russian Petroleum Technical Conference, October 26–28]. Moscow, 2015.

15. Shandrygin, F., Shelepov, V., Ramazanov, R. et al. Mekhanizm vytesneniya malovyazkoy nefti iz mikroneodnorodnoy poristoy sredy polimernymi rastvorami [The mechanism of displacement of low-viscosity oil from a microheterogeneous porous medium with polymer solutions]. *Materialy Rossiyskoy neftegazovoy tekhnicheskoy konferentsii SPE, 25–26 oktyabrya* [Proceedings of the SPE Russian Petroleum Technical Conference, October 25–26]. Moscow, 2016.

16. Yakimchuk I., Yevseev N., Korobkov D. et al. Izuchenie filtratsionno-emkostnykh svoystv achimovskikh porod s pomoshchyu tsifrovogo analiza kerna [Study of reservoir properties of the Achimov rocks using digital core analysis]. *Materialy Rossiyskoy neftegazovoy tekhnicheskoy konferentsii SPE, 22–24 oktyabrya* [Proceedings of the SPE Russian Petroleum Technical Conference, October 22–24]. Moscow, 2019.