

УДК 622.276
МРНТИ 52.47.19

DOI: <https://doi.org/10.54859/kjogi108645>

Получена: 25.04.2023.

Одобрена: 21.06.2023.

Опубликована: 30.06.2023.

Оригинальное исследование

Геотехнологическое регулирование разработки нефтяных месторождений с трудноизвлекаемыми запасами

Ш.Х. Султанов, А.М. Маляренко

Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Значительная доля остаточных запасов нефти разрабатываемых месторождений приурочена к зонам пласта с низкопроницаемыми и недонасыщенными коллекторами, малотолщинными пластами. Поддержание уровней добычи нефти на подобных залежах возможно за счет методической проработки и выработки рекомендаций по оптимизации и совершенствованию системы разработки, адресного применения технологий и методов увеличения нефтеотдачи. В свою очередь, методическая проработка для месторождений с трудноизвлекаемыми запасами включает системный статистический и геолого-технологический анализ результатов разработки месторождений, анализ существующих общепринятых методологий, теоретические исследования. Таким образом, создание комплексного подхода к регулированию разработки нефтяных месторождений с учётом детального понимания геологического строения является важной задачей в условиях современного состояния разрабатываемых месторождений.

Цель. Целью работы является формирование комплексного подхода к регулированию разработки нефтяных месторождений с трудноизвлекаемыми запасами на основе методических решений геолого-технологического и геолого-статистического анализа, дифференциации объектов исследования, ретроспективного анализа применения технологий и методов, направленных на увеличения нефтеотдачи.

Материалы и методы. Достижение поставленной цели возможно при использовании следующих методов: статистический анализ, геолого-промысловый анализ, методические решения по изучению взаимосвязи «порода – флюид», дифференциации объектов исследования по геолого-геофизическим и геолого-промысловым данным. На примере некоторых этапов предложены алгоритмы проведения исследований.

Результаты. Предложено методическое решение для регулирования разработки нефтяных месторождений с трудноизвлекаемыми запасами нефти.

Заключение. Предложенный геотехнологический подход к регулированию разработки позволит повысить технологическую эффективность выработки запасов углеводородов за счёт детального понимания строения коллектора, дифференциации на зоны (участки) пласта, изучения и анализа их состояния разработки, обоснованного выделения первоочередных и перспективных технологий и технических решений для повышения их выработки.

Ключевые слова: моделирование процесса разработки, структура порового пространства, классификации объектов, методы увеличения нефтеотдачи, статистический анализ геологических данных, смачиваемость породы.

Как цитировать:

Султанов Ш.Х., Маляренко А.М. Геотехнологическое регулирование разработки нефтяных месторождений с трудноизвлекаемыми запасами // *Вестник нефтегазовой отрасли Казахстана*. 2023. Том 5, №2. С. 31–41. DOI: <https://doi.org/10.54859/kjogi108645>.

UDC 622.276
CSCSTI 52.47.19

DOI: <https://doi.org/10.54859/kjogi108645>

Received: 25.04.2023.

Accepted: 21.06.2023.

Published: 30.06.2023.

Original research

Geotechnological regulation of the development of oil fields with hard-to-recover reserves

Shamil Kh. Sultanov, Alina M. Malyarenko

Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia

ANNOTATION

Background: A significant proportion of the remaining oil reserves of the fields under development is confined to reservoir zones with low-permeability and undersaturated reservoir, thin reservoirs. Maintenance of oil production levels in such deposits is possible through methodological study and development of recommendations for optimizing and improving the development system, targeted application of technologies and methods for enhanced oil recovery. In turn, the methodological study for deposits with hard-to-recover reserves includes a systematic statistical and geological and technological analysis of the results of field development, an analysis of existing generally accepted methodologies, and theoretical studies. Thus, the creation of an integrated approach to regulating the development of oil fields, taking into account a detailed understanding of the geological structure, is an important task in the current state of the fields under development.

Aim: The aim of the work is to develop an integrated approach to regulating the development of oil fields with hard-to-recover reserves based on methodological solutions of technological and statistical analysis, differentiation of research objects, retrospective analysis of the use of technologies and methods aimed at increasing oil recovery. The aim of the work is to form an integrated approach to regulating the development of oil fields with hard-to-recover reserves based on methodological solutions for geological-technological and geological-statistical analysis, differentiation of research objects, retrospective analysis of the use of technologies and methods aimed at increasing oil recovery.

Materials and methods: Achieving this goal is possible using the following methods: statistical analysis, geological and field analysis, methodological solutions for studying the relationship "rock – fluid", differentiation of research objects according to geological, geophysical and geological and field data. On the example of some stages, research algorithms are proposed.

Results: A methodological solution is proposed for regulating the development of oil fields with hard-to-recover oil reserves.

Conclusion: The proposed geotechnological approach to the development control will improve the technological efficiency of hydrocarbon reserves development due to a detailed understanding of the reservoir structure, differentiation into zones (areas) of the reservoir, study and analysis of their state of development, reasonable selection of priority and promising technologies and technical solutions to increase their production.

Keywords: *development process modeling, pore space structure, object classifications, enhanced oil recovery methods, statistical analysis of geological data, rock wettability.*

To cite this article:

Sultanov SK, Malyarenko AM. Geotechnological regulation of the development of oil fields with hard-to-recover reserves. *Kazakhstan journal for oil & gas industry*. 2023;5(2):31–41. DOI: <https://doi.org/10.54859/kjogi108645>.

ӨОЖ 622.276

ГТАХР 52.47.19

DOI: <https://doi.org/10.54859/kjogi108645>

Қабылданды: 25.04.2023.

Мақұлданды: 21.06.2023.

Жарияланды: 30.06.2023.

Түпұнса зерттеу

Алынуы қиын қорлары бар мұнай кен орындарын игеруді геотехнологиялық реттеу

Ш.Х. Султанов, А.М. Маляренко

Уфа мемлекеттік мұнай техникалық университеті, Уфа қаласы, Ресей

АҢДАТПА

Негіздеме. Игеріліп жатқан кен орындарының қалдық мұнай қорларының едәуір үлесі өткізгіштігі төмен және қанықпаған коллекторы, қалыңдығы төмен қабаттары бар қабаттар аймақтарына орайластырылған. Мұндай кен орындарында мұнай өндіру деңгейін ұстап тұру әдістемелік пысықтау және мұнай беруді ұлғайту технологиялары мен әдістерін әзірлеу, атаулы қолдану жүйесін оңтайландыру және жетілдіру бойынша ұсынымдар әзірлеу есебінен мүмкін болады. Өз кезегінде, алынуы қиын қорлары бар кен орындары үшін әдістемелік пысықтау кен орындарын игеру нәтижелеріне жүйелі статистикалық және геологиялық-технологиялық талдауды, қолданыстағы жалпы қабылданған әдістемелерді талдауды, теориялық зерттеулерді қамтиды. Осылайша, геологиялық құрылымды егжей-тегжейлі түсінуді ескере отырып, мұнай кен орындарын игеруді реттеудің кешенді тәсілін құру игеріліп жатқан кен орындарының қазіргі жай-күйі жағдайында маңызды міндет болып табылады.

Мақсаты. Жұмыстың мақсаты геологиялық-технологиялық және геологиялық-статистикалық талдаудың әдістемелік шешімдері, зерттеу объектілерін саралау, мұнай беруді арттыруға бағытталған технологиялар мен әдістерді қолдануды ретроспективті талдау негізінде алынуы қиын қорлары бар мұнай кен орындарын игеруді реттеуге кешенді тәсілді қалыптастыру болып табылады.

Материалдар мен әдістер. Қойылған мақсатқа келесі әдістерді қолдану арқылы қол жеткізуге болады: статистикалық талдау, геологиялық-кәсіптік талдау, «тау жынысы – флюид» байланысын зерттеу бойынша әдістемелік шешімдер, зерттеу объектілерін геологиялық-геофизикалық және геологиялық-кәсіптік деректер бойынша саралау. Кейбір кезеңдердің мысалында зерттеу алгоритмдері ұсынылған.

Нәтижелері. Алынуы қиын мұнай қорлары бар мұнай кен орындарын игеруді реттеу үшін әдістемелік шешім ұсынылды.

Қорытынды. Әзірлеуді реттеуге ұсынылған геотехнологиялық тәсіл коллектордың құрылымын егжей-тегжейлі түсіну, қабаттың аймақтарына (учаскелеріне) саралау, олардың даму жағдайын зерттеу және талдау, оларды өндіруді арттыру үшін бірінші кезектегі және көрсективалы технологиялар мен техникалық шешімдерді негізді бөлу есебінен көмірсутектер қорларын өндірудің технологиялық тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді.

Негізгі сөздер: *әзірлеу процесін модельдеу, кеуек кеңістігінің құрылымы, объектілердің жіктелуі, мұнай беруді ұлғайту әдістері, геологиялық деректерді статистикалық талдау, тау жыныстарының сулануы.*

Дәйексөз келтіру үшін:

Султанов Ш.Х., Маляренко А.М. Алынуы қиын қорлары бар мұнай кен орындарын игеруді геотехнологиялық реттеу // *Қазақстанның мұнай-газ саласының хабаршысы*. 2023. 5 том, №2, 31–41 б.

DOI: <https://doi.org/10.54859/kjogi108645>.

Введение

Вопросы эффективной выработки запасов нефти формируются в течение всего срока разработки месторождения, от его ввода до начала выбытия скважин из эксплуатации. Ввиду того, что основная часть запасов нефти месторождения в Волго-Уральской нефтегазоносной провинции (далее – НГП) осваивается с 50–60 гг. прошлого столетия, а в Западной Сибири с 70–80 гг., значительная часть залежей содержит углеводороды (далее – УВ) в низкопроницаемых коллекторах, в «тупиковых» или застойных зонах, в т.ч. обусловленных тектоническим фактором, а также в линзах, «пропущенных» пластах и т.д. Следует также отметить, что в последние 20 лет началась разработка месторождений, характеризующихся неблагоприятными коллекторскими свойствами, а также свойствами флюидов, насыщающих его. Настоящий этап отечественной нефтедобычи ознаменован началом активного изучения и «пробной» добычи УВ из сланцев. Всё вышеуказанное свидетельствует о росте доли трудноизвлекаемых запасов (далее – ТИЗ), которые для месторождений Волго-Уральской НГП составляют не менее 62%. ТИЗ нефти содержатся во всех стратиграфических комплексах, по этой причине их освоенность также различна. Справедливым является и то, что с развитием технологий, появлением новых технических решений и способов добычи УВ доля ТИЗ, выделяемая по геологическим критериям, снизилась. Например, коллекторы с проницаемостью 0,03–0,05 мкм² или залежи, содержащие нефть вязкостью 30–50 мПа·с, в настоящее время достаточно эффективно разрабатываются.

Постановка задачи

Эффективная выработка запасов нефти, приуроченных к неблагоприятным геологическим условиям, в первую очередь обусловлена «адресным» подходом к каждому участку пласта или его пропластку. Известно, что изменение направления ствола скважины на 30–45° в горизонте может привести к увеличению дебита нефти более чем в 1,3 раза.

Таким образом, максимально возможное освоение запасов каждой отдельной залежи месторождения определяется, в первую очередь,

особенностями геологического строения. Существующий принцип выбора системы и способа разработки месторождения, основанный на опыте и подходах добычи нефти на схожих месторождениях, должен включать поиск, разработку и внедрение новых технологий и технических решений добычи УВ.

Методические решения

Успешность реализации технологии, направленной на повышение добычи нефти, базируется на их геолого-технологическом, технико-экономическом и информационном обосновании, а также сопровождении при внедрении на объектах разработки. Таким образом, основой комплексного подхода к геолого-технологическому регулированию разработки нефтяных месторождений с ТИЗ являются:

- информационное и цифровое обеспечение реализации технологий;
- создание научных основ применения комплексных технологий освоения ТИЗ нефти;
- создание комплексных гибких технологий освоения ТИЗ нефти;
- комплексное геолого-технологическое, инженерно-техническое и экологическое сопровождение применения технологий;
- проведение опытно-промышленных работ и выдача геолого-технологического и технико-экономического заключений для промышленного внедрения технологий [1–3].

Представленный подход является единым «набором» научно-исследовательских и опытно-промышленных работ, где каждое направление является ключевым.

Геолого-технологическое и технико-экономическое обоснования технологий и технических решений, направленных на вовлечение в разработку запасов УВ и доизвлечение остаточной нефти месторождений, включают следующий последовательный комплекс работ и исследований:

- изучение и исследование структурных и физико-химических свойств коллектора;
- понимание геологии залежи, особенно характера литологической изменчивости и, как следствие, неоднородности нефтяной залежи;

– дифференцирование объектов исследований (объект разработки, залежи, пласты, участки или зоны пласта) по свойствам и параметрам, характеризующим свойства пластовых систем;

– выделение характерных объектов и обоснование объектов-полигонов в дифференцированных группах для проведения технологических и технико-экономических расчётов;

– критериальный анализ возможного применения методов увеличения нефтеотдачи (далее – МУН) и интенсификации добычи нефти (далее – ИДН) для объектов в дифференцированных группах, с учётом геолого-геофизических и геолого-промысловых условий;

– имитационное моделирование разработки объектов-полигонов с обоснованным для них комплексом технологий интенсификации процесса нефтеизвлечения с определением технологического эффекта;

– технико-экономические расчёты вариантов применения МУН и основных технико-экономических показателей;

– комплексное геолого-технологическое и технико-экономическое заключение и рекомендации по применению рассмотренных технологий на месторождениях региона.

Теоретические и лабораторные исследования

Геологическими причинами формирования остаточных запасов УВ являются частое изменение показателей неоднородности по площади и по разрезу, фильтрационных и емкостных свойств (далее – ФЕС) пород пластов, сложная и различная глинистость пород, различный характер смачиваемости пород пластов и многое другое. Все эти геологические особенности являются причинами формирования остаточных запасов УВ. К этому необходимо добавить, что механизм вытеснения УВ из коллектора сложный, т.к. на него влияют многие факторы, определяющие процесс разработки залежи, в т.ч. структура порового пространства (пористость, распределение пор и частиц породы по размерам, геометрия пор, удельная поверхность), характер насыщения порового пространства флюидом и степень его гидрофобизации. От смачиваемости породы зависят

остаточная нефте- и водонасыщенность, величина капиллярного давления, коэффициент вытеснения нефти водой, фазовая проницаемость. Фильтрационные свойства пород-коллекторов обусловлены как размерами пустотного пространства, так и удельным соотношением пор разной величины, степенью их взаимосвязи и расположения [4–9].

С целью оценки ФЕС, а также других параметров и свойств, полученных в результате экспериментов, предложена методика прогноза, включающая:

– определение статистических характеристик по параметрам, полученным по результатам анализа керна;

– корреляционный анализ между основными ФЕС и структурными свойствами, а также гранулометрическим составом исследуемых образцов;

– множественный регрессионный анализ между распределением частиц по размерам, основными ФЕС и структурными свойствами;

– построение статистических моделей для прогноза основных ФЕС исследуемых месторождений.

Статистический анализ данных по пористости, проницаемости, остаточной водонасыщенности, распределению частиц по размерам и структуре порового пространства, выполненный для продуктивного пласта месторождений Западной Сибири, показал, что параметры пласта характеризуются очень широким диапазоном изменения их свойств. Например, проницаемость изменяется в пределах 0,0013–0,8 мкм².

Корреляционный анализ между дисперсным составом, основными ФЕС и структурными свойствами исследуемых образцов показал, что содержание мелких и средних частиц размером менее 100 мкм предопределяет ФЕС и структурные свойства коллекторов рассматриваемых месторождений.

Часто в нефтегазовой практике важно знать закон распределения пор по размерам. В связи с этим на следующем этапе были получены зависимости распределения пор по размерам по данным дисперсионного анализа. С этой целью для каждого образца керна по данным порометрии была построена интегральная кривая распределения пор по размерам. Каждая построенная интегральная кривая была аппроксимирована уравнением (1):

$$Y = 1 - \exp(-KR^n) \quad (1)$$

где Y – содержание пор, д. ед.;
 R – радиус поровых каналов, мкм; K, n – коэффициенты уравнения аппроксимации.

Далее для значений коэффициентов уравнения K и n были получены

$$K = 0,373 - 0,0085d_{100-250} - 0,0034d_{50-100} + 0,0114d_{10-50} + 0,0698d_{<10}, \quad (R^2 = 0,555) \quad (2)$$

$$n = 1,175 - 0,095 \ln(d_{>250} - 0,003d_{100-250} + 0,0012d_{50-100} - 0,008d_{10-50}), \quad (R^2 = 0,402) \quad (3)$$

где $d_{<10}$, d_{10-50} , d_{50-100} , $d_{100-250}$, $d_{>250}$ – содержание частиц определенного размера, % мас.

Проведенная процедура позволяет по распределению частиц по размерам судить о структуре порового пространства.

Различный характер смачиваемости возникает из-за того, что поверхность пор состоит из минералов с различными химическими и адсорбционными свойствами. Также смачиваемость породы зависит от структуры порового пространства, физико-химических свойств насыщающих жидкостей. Для понимания минерального состава породы, а также для исключения гидрофобизации за счёт карбонатного цемента важным является выполнение исследований по определению элементного состава образцов (рис. 1) и изучению их смачиваемости. Исследование образцов показало, что смачиваемость изменяется в очень широких пределах – от чисто гидрофильных до чисто гидрофобных. Анализ распределения значений показателя смачиваемости от пористости, коэффициентов проницаемости, остаточной водонасыщенности и коэффициента вытеснения показал, что наилучшими коллекторскими свойствами обладает гидрофобная группа образцов, наихудшими – гидрофильная. Из данных по корреляции можно сделать вывод о частом изменении смачиваемости в пределах пласта (рис. 2) [4–11].

Результат внедрения технологий и технических решений на объектах-полигонах зависит от «адаптированного» информационного обеспечения, правильного выбора обоснованных мероприятий по оптимизации сетки и режимов работы нагнетательных и добывающих скважин для регулирования процесса дренирования различных участков и зон продуктивных пластов с целью увеличения степени выработки запасов и коэффициента

регрессионные зависимости от результатов дисперсионного анализа образцов керна (распределения частиц по размерам). В результате получены зависимости (3, 4):

нефтеотдачи пластов. Решение перечисленного круга задач практически невозможно без применения современных информационных технологий.

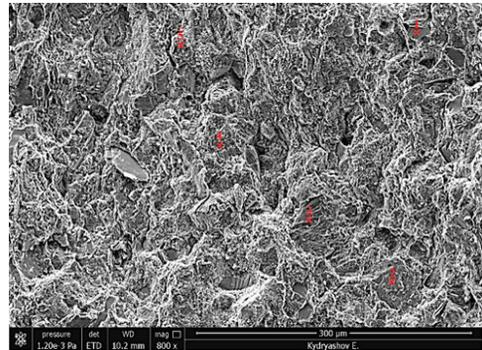


Рисунок 1. Общая фотография образца породы

Figure 1. General photo of a rock sample

1 – зерна кварца / quartz grains; 2, 3 – калиевые полевые шпаты / potassium feldspar; 4, 5 – глинистые участки / clayey areas

Предлагаемый подход предусматривает решение задач анализа, контроля и регулирования разработки нефтяных месторождений в рамках создания геолого-математической и фильтрационной моделей исследуемого объекта.

Прогнозирование добычи нефти, выявление особенностей и факторов, влияющих на неё, всегда имели важное значение в процессах контроля и регулирования разработки месторождений. Достоверный прогноз добычи нефти базируется на обобщении и систематизации геолого-промысловых данных и может быть повышен за счёт ретроспективного и сравнительного анализа разработки месторождения, проведенного для пластов, эксплуатационных объектов или залежей, схожих по геотехнологическим параметрам пластовых систем. Для обоснованного и оперативного определения групп схожих

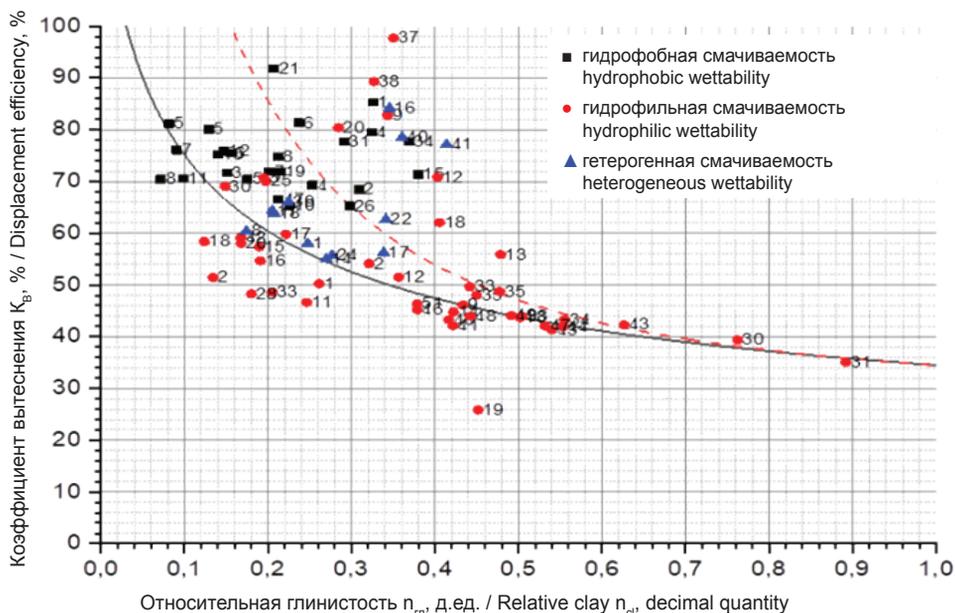


Рисунок 2. Зависимость распределения коэффициента вытеснения K_p от относительной глинистости n_{cl} по типу смачиваемости
Figure 2. Dependence of the distribution of the displacement coefficient D_c on the relative clay content n_{cl} according to the type of wettability

объектов (классификации) используются различные методы математической статистики.

На результаты классификации значительное влияние оказывают качество и объём исходной информации. Для более достоверного распределения объектов по группам предложена методика, направленная на выбор способа группирования при определенном наборе исходной информации.

Известно, что объём исходной информации влияет на результаты классификации. Исходя из этого, а также из целей группирования предлагаемая последовательность выделения однотипных групп проводится различными методами. Детальный схематичный порядок группирования предложен на рис. 3.

При группировании небольшого количества объектов удобно использовать кластерный анализ. Суть данного метода в том, что два объекта, принадлежащих одной и той же группе (кластеру), имеют коэффициент сходства, который меньше некоторого порогового значения. При классификации большого объёма

данных предлагается использовать независимые способы идентификации объектов: искусственные нейронные сети (далее – ИНС), метод главных компонент (далее – МГК), кластерный анализ. Особенностью и сложностью использования нескольких методов является конечное сопоставление групп и выявление основных общих характеристик.

Использование данного подхода к классификации объектов повысит достоверность выделения однотипных объектов. В пределах отдельных классов появляется обоснованная возможность к тиражированию успешного опыта по использованию технологий, способов и методов, направленных на повышение эффективности выработки запасов УВ [2, 12, 13].

Проведенное комплексное геолого-технологическое и технико-экономическое обоснование повышения эффективности выработки остаточных запасов позволит получить картину современного состояния выработки запасов, дифференцировать их по степени охвата воздействием, выработать систему геолого-технических мероприятий, дать оценку тех-

нологической и технико-экономической эффективности мероприятий, подготовить информационную базу для внедрения методов увеличения нефтеотдачи на исследуемом объекте-полигоне [14]. Геолого-промысловый анализ выработки эксплуатационных объектов месторождений в пределах выделенных групп, традиционно, включает совместный анализ карт остаточных запасов, обводненности, нефтенасыщенных толщин, распространения продуктивных пластов, свойств коллекторов.

Для совершенствования системы разработки и адресного обоснования геолого-технических мероприятий рассмотренный подход был реализован на месторождениях Западной Сибири трех основных свит, к которым приурочены нефтегазоносные пласты (васюганская, сортымская и мегийонская), а также при обосновании технологий доизвлечения остаточной нефти на мелких месторождениях с высоковязкой нефтью Южно-Татарского свода.

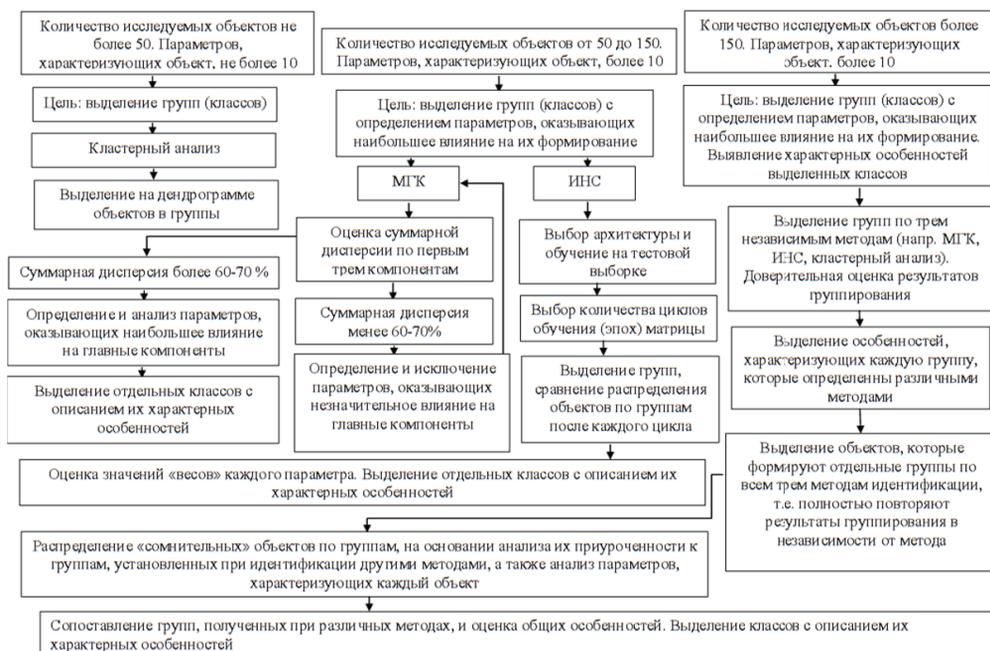


Рисунок 3. Схема классификации объектов различными статистическими методами при различных условиях представления исходной информации

Figure 3. Classification scheme for objects by various statistical methods under various conditions for the presentation of initial information

Таким образом, комплексный подход к геотехнологическому регулированию разработки нефтяных месторождений с ТИЗ можно представить в виде принципиальной схемы (рис. 4), в которую интегрированы разработанные методические решения по литолого-фациальному изучению и моделированию пластовых систем, пониманию степени взаимосвязи «порода – флюид», дифференциации или классификации объектов исследования и запасов нефти, геолого-промысловому анализу разработки и прогнозированию показателей разработки, оценке перспективных зон (участков) залежи УВ.

Выводы

Предложенный геотехнологический подход к регулированию разработки позволит повысить технологическую эффективность выработки запасов УВ за счёт детального понимания строения коллектора, дифференциации на зоны (участки) пласта, изучение и анализ их состояния разработки, обоснованного выделения первоочередных и перспективных технологий и технических решений для повышения их выработки.

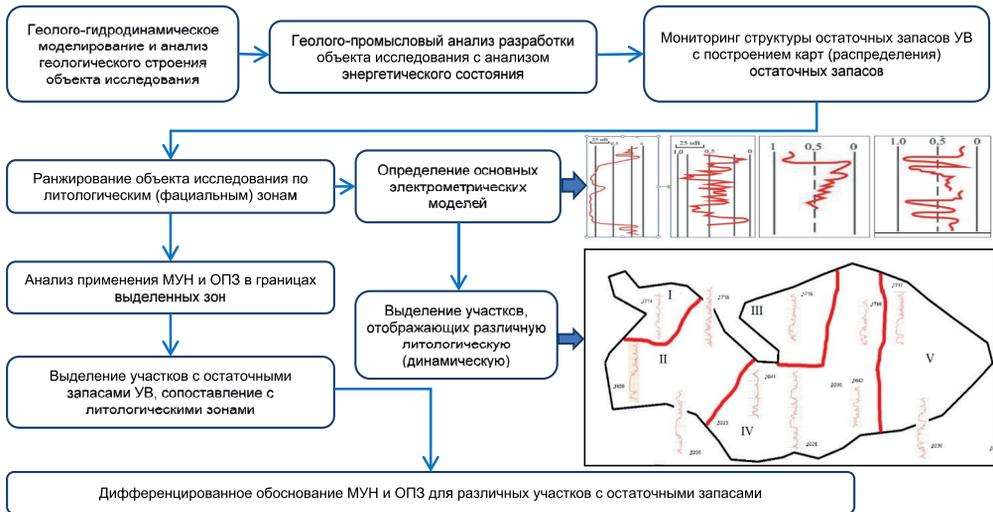


Рисунок 4. Принципиальная схема дифференцированного подхода к извлечению нефти на разрабатываемых месторождениях
Figure 4. Schematic diagram of a differentiated approach to oil recovery in the fields under development

ОПЗ – обработка призабойной зоны пласта / bottom-hole formation zone treatment
МУН – методы увеличения нефтеотдачи / advanced oil recovery methods

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

Источник финансирования. Работа поддержана Министерством науки и высшего образования Российской Федерации по соглашению № 075-15-2020-9020 в рамках программы развития НЦМУ.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределён следующий образом: Султанов Ш.Х. – концепция исследования, проведение исследования, Маляренко А.М. – сбор, анализ, написание рукописи, интерпретация данных

исследования, проверка результатов, редактирование рукописи.

ADDITIONAL INFORMATION

Funding source. This work was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation under agreement № 075-15-2020-900 within the framework of development program for World-Class Research Center.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Authors' contribution. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work. The largest contribution is distributed as follows: Shamil Kh. Sultanov – the concept of the study, the conduct of the study; Alina M. Malyarenko – collection, analysis, writing of the manuscript, interpretation of research data, verification of results, editing of the manuscript.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Султанов Ш.Х. Системный подход к разработке крупных нефтяных месторождений с трудноизвлекаемыми запасами // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2009. № 1(75). С. 15–20. doi:10.17122/ntj-oil-2016-4-28-34.

2. Султанов Ш.Х. Метотехнология системного анализа разработки нефтяных месторождений с различными категориями трудноизвлекаемых запасов. Уфа : Монография, 2009. 204 с.

3. Султанов Ш.Х., Андреев В.Е., Котенев Ю.А., Хайрединов Н.Ш. Комплексный геолого-технологический анализ разработки нефтяных месторождений, характеризующихся различными геолого-физическими и физико-химическими условиями пластовых систем // Нефтегазовое дело. 2008. Т. 6, № 1. С. 22–28.

4. Malyarenko A.M., Bogdan V.A., Blinov S.A., et al. Improving the reliability of determining physical properties of heterogeneous clay reservoir rocks using a set of techniques // Journal of Physics: Conference Series. 2021. Vol. 1753. doi:10.1088/1742-6596/1753/1/011001.

5. Ахметов Р.Т., Маляренко А.М., Кулешова Л.С. Количественная оценка гидравлической извилистости коллекторов нефти и газа Западной Сибири на основе капилляриметрических исследований // Socar Proceeding. 2021. № 2. С. 71–84. doi:10.5510/OGP20210200498.

6. Маляренко А.М., Котенев Ю.А., Богдан В.А. Дифференциация неоднородного продуктивного пласта по фильтрационным характеристикам на основе лабораторных исследований и статистических зависимостей // Международная научно-практическая конференция «Состояние и перспективы эксплуатации зрелых месторождений»; Май 16, 2019; Актау, Казахстан.

7. Маляренко А.М., Котенев Ю.А., Богдан В.А., и др. Изучение глинистости породы в связи с её влиянием на коллекторские свойства // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2020. № 6(342). С. 32–41. doi:10.30713/2413-5011-2020-6(342)-32-41.

8. Маляренко А.М., Богдан В.А., Блинов С.А., и др. Методические подходы при изучении физических свойств неоднородных глинизированных пород-коллекторов // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2020. № 8(344). С. 57–63.

9. Ахметов Р.Т., Зейгман Ю.В., Мухаметшин В.В., и др. Прогноз показателей смачиваемости продуктивных пластов по объёмному содержанию остаточной воды // Известия высших учебных заведений. Нефть и Газ. 2017. № 2. С. 39–43. doi:10.31660/0445-0108-2017-2-39-43.

10. Malyarenko A.M., Kotenev A.Yu., Kotenev M. Influence of the Reservoir Rocks Sedimentation and its Mineral Content on the Properties of BS10 Reservoirs in the Gubkin Oil and Gas Region // SPE Annual Technical Conference and Exhibition; 2020 Oct 27; Virtual. Available from: <https://onepetro.org/SPEATCE/proceedings-abstract/20ATCE/2-20ATCE/D022S061R022/449974>. Cited 12.04.2023.

11. Султанов Ш.Х., Варламов Д.И., Чибисов А.В. Решение задач классификации при помощи систем искусственного интеллекта // Проблемы освоения трудноизвлекаемых запасов нефти и газа. Уфа. ЦХИМН АН РБ. 2008. № 5. С. 228–231.

12. Султанов Ш.Х. Методика классификации залежей нефти с использованием статистических методов // Нефтегазовое дело. 2008. Т. 6, № 1. С. 17–21.

13. Хайрединов Н.Ш., Андреев В.Е., Котенев Ю.А., Блинов С.А. Комплексный подход к проектированию и разработке нефтяных месторождений с трудноизвлекаемыми запасами // Научно-практическая конференция ОАО «ЛУКОЙЛ-Пермь» «Новые методы и технологии проектирования и обустройства месторождений»; 2004; Пермь.

REFERENCES

1. Sultanov SK. System approach to development of large oil deposits with reserves hard to recover. *Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products*. 2009;1(75):15–20. doi:10.17122/ntj-oil-2016-4-28-34.

2. Sultanov SK. *Metotehnologiya sistemnogo analiza razrabotki neftyanykh mestorozhdeniy s razlichnymi kategoriyami trudnoizvlekayemykh zasposov*. Ufa: Monografiya; 2009. P. 204. (In Russ).

3. Sultanov SK, Andreyev VY, Kotenev UA, Khairedinov NS. Kompleksnyy geologo-technologicheskyy analiz razrabotki neftyanykh mestorozhdeniy, kharakterizuyushchikhsya

razlichnymi geologo-fizicheskim i fiziko-himicheskimi usloviyami plastovykh sistem. *Petroleum Engineering*. 2008;6(1):22–28. (In Russ).

4. Malyarenko AM, Bogdan VA, Blinov SA, et al. Improving the reliability of determining physical properties of heterogeneous clay reservoir rocks using a set of techniques. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021;1753. doi:10.1088/1742-6596/1753/1/011001.

5. Akhmetov RT, Malyarenko AM, Kuleshova LS, et al. Quantitative Assessment of Hydraulic Tortuosity of Oil and Gas Reservoirs in Western Siberia Based on Capillarimetric Studies. *Socar Proceeding*. 2021;2:71–84. doi:10.5510/OGP20210200498.

6. Malyarenko AM, Kotenev YA, Bogdan VA. Differentsiatsiya neodnorodnogo produktivnogo plasta po fil'tratsionnym kharakteristikam na osnove laboratornykh issledovaniy i statisticheskikh zavisimostey. Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Sostoyaniye i perspektivy ekspluatatsii zrelykh mestorozhdeni»; 2019 May 16; Aktau, Kazakhstan. (In Russ).

7. Malyarenko AM, Kotenev YA, Bogdan VA, et al. Study of rock clayiness in connection with its influence on reservoir properties. *Geology, geophysics and development of oil and gas fields*. 2020;6(342):32–41. doi:10.30713/2413-5011-2020-6(342)-32-41.

8. Malyarenko AM, Bogdan VA, Blinov SA, et al. Metodicheskiye podkhody pri izuchenii fizicheskikh svoystv neodnorodnykh glinizirovannykh porod-kollektorov. *Geology, geophysics and development of oil and gas fields*. 2020;8(344):57–63. (In Russ).

9. Akhmetov RT, Zeigman YV, Mukhametshin VV, et al. Forecast of Wettability Index in productive formations by volume of residual water content. *Oil and Gas Studies*. 2017;2:39–43. doi:10.31660/0445-0108-2017-2-39-43.

10. Malyarenko AM, Kotenev AY, Kotenev M. Influence of the Reservoir Rocks Sedimentation and its Mineral Content on the Properties of BS10 Reservoirs in the Gubkin Oil and Gas Region. SPE Annual Technical Conference and Exhibition; 2020 Oct 27; Virtual. Available from: <https://onepetro.org/SPEATCE/proceedings-abstract/20ATCE/2-20ATCE/D022S061R022/449974>. Cited 12 Apr 2023.

11. Sultanov SK, Varlamov DI, Chibisov AV. Resheniye zadach klassifikatsii pri pomoshchi sistem iskusstvennogo intellekta. *Problemy osvoyeniya trudnoizvlekayemykh zapasov nefi i gaza*. Ufa. TSentr khimicheskoy mekhaniki nefi Akademii nauk Respubliki Bashkortostan. 2008;5:228–231.

12. Sultanov SK. Metodika klassifikatsii zalezhey nefi s ispol'zovaniyem statisticheskikh metodov. *Petroleum Engineering*. 2008;6(1):17–21.

13. Khayredinov NS, Andreyev VY, Kotenev YA, Blinov SA. Kompleksniy podkhod k proyektirovaniyu I razrabotke nefyanykh mestorozhdeniy s trudnoizvlekayemymi zapasami. Nauchno-prakticheskaya konferentsiya OAO «LUKOYL-Perm'» «Novyye metody i tekhnologii proyektirovaniya i obustroystva mestorozhdeniy»; 2004; Perm. (In Russ).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Султанов Шамиль Ханифович

докт. техн. наук, профессор
ORCID: 0000-0003-3481-9519
WoS Researcher ID: CAH-8765-2022
Scopus Researcher ID: 23111853300
elibrary: 445395

e-mail: ssultanov@mail.ru.

Маляренко Алина Михайловна

канд. геол.-мин. наук
e-mail: m_alina_m@mail.ru.

AUTHORS' INFO

*Shamil Kh. Sultanov

D. Sc. (Engineering), professor
ORCID: 0000-0003-3481-9519
WoS Researcher ID: CAH-8765-2022
Scopus Researcher ID: 23111853300
elibrary: 445395

e-mail: ssultanov@mail.ru.

Alina M. Malyarenko

Cand. Sc. (Geology and Mineralogy)
e-mail: m_alina_m@mail.ru.

*Автор, ответственный за переписку/Corresponding Author