

## ОБОСНОВАНИЕ СИСТЕМ ЗАВОДНЕНИЯ НИЗКОПРОДУКТИВНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ НЕФТИ В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕННОГО ОБЪЕМА ИНФОРМАЦИИ

**В.В.Мухаметшин\*, Л.С.Кудешова**

*Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Россия*

### Justification of Low-Productive Oil Deposits Flooding Systems in the Conditions of Limited Information Amount

*V.V.Mukhametshin, L.S.Kuleshova*

*Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia*

#### **Abstract**

For different low-productive deposits groups in the West Siberian oil and gas province Terrigenous reservoirs that are coming out of exploration, a methodical approach to individual problems solving in the drilling strategy search and justification, flooding systems, wells spacing system choosing, the need to use non-traditional approaches to flooding and production organization (the use of horizontal, multibranch, multilateral wells, etc.), optimal bottomhole pressures and operating modes for producing and injection wells with the aim of low profitability deposits' active involvement in the development is proposed. The approach is based on the use of information on deposits that can in sufficient volume and with sufficient accuracy be obtained at the stage of geological exploration, when the use of hydrodynamic models is a matter of some difficulty. The necessity of a differentiated approach to solving problems using the analogy method is shown.

#### **Keywords:**

Withdrawal of deposits from exploration;  
Low-productive deposits;  
Analogy method;  
Contour waterflooding.

© 2019 «OilGasScientificResearchProject» Institute. All rights reserved.

На стадии выхода месторождений из разведки и составления первых проектных документов важнейшими являются задачи определения стратегии разбуривания, выбора систем заводнения, плотности сеток скважин и систем их размещения, определения необходимости использования нетрадиционных подходов к организации заводнения и добычи (использование горизонтальных, многоствольных, многозабойных скважин и т.д.), определения оптимальных забойных давлений и режимов работы добывающих и нагнетательных скважин [1-7].

При решении этих задач, когда использование гидродинамических моделей, методов линий тока, методов материального баланса, в том числе и с использованием емкостно-резистивных моделей и др. является затруднительным ввиду отсутствия необходимого объема информации, широко применяется метод аналогий, позволяющий использовать опыт разработки и научно-методическую базу месторождений, находящихся

ся длительное время в разработке [8-13].

В условиях снижения прироста разведанных запасов, перемещения центра тяжести остаточных запасов в сторону трудноизвлекаемых, вовлечения в разработку месторождений в труднодоступных регионах с экстремальными природно-климатическими условиями особую значимость приобретает использование этой базы для активного вовлечения в разработку низкопродуктивных залежей в терригенных коллекторах Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции, в которых сосредоточены весьма значительные запасы нефти и объекты приурочены к районам с развитой жилищной и производственной инфраструктурой.

Медленный ввод низкопродуктивных объектов в эксплуатацию объясняется низкой эффективностью их разработки [14-16]. Одной из основных причин этого является низкая эффективность внутриконтурного заводнения, при котором добывающие скважины не испытывают влияния закачки из-за низких коллекторских свойств пластов, клиновидного и линзовидного строения пород-коллекторов, частого их замещения в про-

\*E-mail: [vv@of.ugntu.ru](mailto:vv@of.ugntu.ru)

<http://dx.doi.org/10.5510/OGP20190200384>

межутках между скважинами непроницаемыми породами и рядом других причин. В то же время, как показывает опыт разработки таких объектов, при правильном выборе расстояний между скважинами с учетом особенностей геологического строения, дебиты и степень выработки запасов достигают величин, делающих разработку этих залежей весьма рентабельной.

С целью дополнения научно-методической базы обоснования выбора расстояний между добывающими и нагнетательными скважинами на участках с различными геологическими характеристиками для ускорения ввода в разработку низкопродуктивных объектов было проведено обобщение эффективности эксплуатации месторождений с применением заводнения и находящихся длительное время в разработке.

Обобщение проводилось раздельно, по группам относительно однородных (в пределах групп) объектов, выделенных в работе [17]. Каждая из 19-ти выделенных групп объектов имеет свой специфический характер выработки запасов, что и обусловило дифференцированный подход при проведении анализа. Были выбраны объекты групп 6, 10, 12, 14, 15, по которым имелся представительный геолого-промысловый материал.

Объекты группы 6 приурочены к пластам верхней и средней юры, расположенным, в основном, в пределах Северо-Вартовской моноклинали. В эту же группу входят и отдельные залежи, расположенные в пределах Сургутского и Нижневартовского сводов и Ярсомовского прогиба.

Объекты группы 10 приурочены к ачимовским отложениям, расположенным равномерно в пределах Северо-Вартовской моноклинали, Сургутского и Нижневартовского сводов. Сюда же входят и отдельные залежи Ярсомовского прогиба.

Группу объектов 12 составляют залежи валанжинского яруса, приуроченные к вышеперечисленным тектоническим элементам, а также отдельные залежи баремского яруса Северо-Вартовской моноклинали.

Группа объектов 14 включает в себя залежи готеривского возраста Северо-Вартовской и валанжинского Северо-Сургутской моноклиналей, а также отдельные объекты аптского и готеривского возрастов Верхнепурского вала.

И, наконец, группа объектов 15 состоит, в основном, из залежей готеривского возраста Нижневартовского свода, а также отдельных залежей аптского возраста Северо-Вартовской моноклинали, готеривского – Сургутского, баремского – Нижневартовского сводов.

Анализ влияния геолого-технологических параметров на эффективность заводнения показал наличие «своего» набора значимых параметров в пределах выделенных групп. При этом под эффективностью понималась не только реакция добывающей скважины на закачку воды в нагнетательную, но и увеличение прогнозных извлека-

емых запасов после начала заводнения, определенных статистическим методом, предложенным в работе [18].

В условиях отсутствия представительного объема гидродинамических исследований скважин было выделено около 2000 пар добывающих и нагнетательных скважин и по каждой паре определялась степень взаимодействия путем расчета значений взаимокорреляционной функции (ВКФ) в пределах временных рядов месячной добычи жидкости и закачки воды в течение одного года после организации заводнения. По максимальному значению ВКФ определялась степень реагирования. Анализ показал, что почти в 90% скважин прирост извлекаемых запасов приходится на значения ВКФ  $\geq 0.5$ . Именно эта величина и была принята за границу эффективности.

В дальнейшем было использовано понятие успешности, которая характеризует количество скважин прореагировавших на закачку (ВКФ  $\geq 0.5$ ) к общему количеству скважин в определенном интервале изменения значений того или иного анализируемого параметра. Среди геологических параметров, влияющих на успешность, рассматривалось более 20-ти, характеризующих коллекторские и толщинные свойства пластов в добывающих и нагнетательных скважинах, определенных по данным геофизических исследований. Среди технологических – расстояние между скважинами ( $F$ ), давление ( $P_{зак}$ ) и месячный объем закачки воды ( $Q_{зак}$ ) в нагнетательную скважину.

Выделение значимых параметров через использование различных критериев информативности, отсеивание взаимокоррелированных, анализ и перебор различных сочетаний параметров при использовании критериев, характеризующих степень разделения скважин на реагирующие и не реагирующие на закачку, позволили получить комплексные эмпирические параметры успешности заводнения по группам объектов 6, 10, 12, 14, 15 соответственно:

$$P_{Y3} = \frac{H_E^D \cdot \alpha_{ПС}^H \cdot K_{П}^H \cdot Q_{зак}}{F} \quad (1)$$

$$P_{Y3} = \frac{H_E^D \cdot K_{прон}^D \cdot H_E^H \cdot K_{прон}^H}{F} \quad (2)$$

$$P_{Y3} = \frac{\alpha_{ПС}^D \cdot K_{П}^H}{F} \quad (3)$$

$$P_{Y3} = \frac{H_E^D \cdot H_E^H \cdot \rho_{ИК}^H}{F} \quad (4)$$

$$P_{Y3} = \frac{H_E^D \cdot K_{прон}^D \cdot \rho_{ИК}^D \cdot H_E^H \cdot K_{прон}^H \cdot \rho_{ИК}^D}{F} \quad (5)$$

где  $H_E^D$ ,  $H_E^H$  – эффективная нефтенасыщенная толщина, м;

$K_{прон}^D$ ,  $K_{прон}^H$  – коэффициент проницаемости,  $10^{-3}$  мкм<sup>2</sup>;

$\alpha_{ПС}^D$ ,  $\alpha_{ПС}^H$  – относительная амплитуда соб-

ственной поляризации пласта;

$\rho_{ИК}^D, \rho_{ИК}^H$  – сопротивление пласта по ИК, Ом·м;

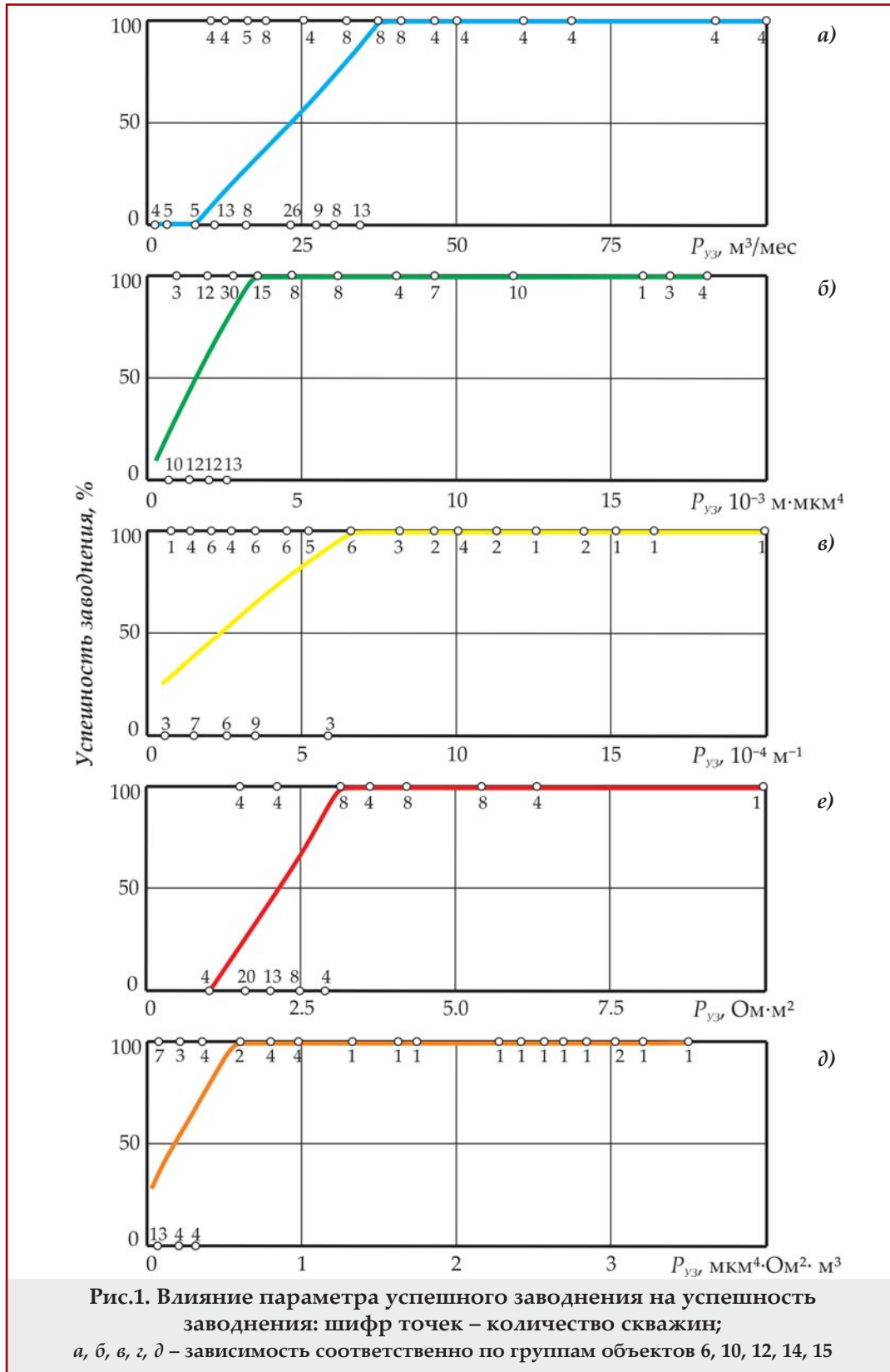
$K_{п}^H$  – коэффициент песчаности;

символы  $D$  и  $H$  означают назначение скважин (добывающие и нагнетательные соответственно).

Полученные уравнения (1)-(5), а также использование зависимостей, представленных на рисунке 1, позволяют решать целый комплекс задач по совершенствованию систем заводнения в пределах рассмотренных объектов и аналогичных им,

находящихся в разработке, а именно:

- оценивать вероятность взаимодействия скважин по косвенным данным;
- выбирать очаги для перевода добывающих скважин под нагнетание;
- выбирать назначение скважин при реализации избирательного заводнения;
- обосновывать перевод и назначение скважин при переводе их с других эксплуатационных горизонтов и т.д.



Полученные результаты позволяют на стадии проведения геолого-разведочных работ, т.е. когда имеются уже достаточно надежные данные (в целом по залежам или их отдельным участкам) о средних значениях параметров, входящих в формулы (1)-(5), приближенно оценивать расстояния, которые обеспечат взаимодействие добывающих и нагнетательных скважин по формулам, соответственно для групп объектов 6, 10, 12, 14, 15:

$$F \leq F_{\max} = 2.7 \cdot 10^{-2} H_E \cdot \alpha_{\text{ПС}}^2 \cdot K_{\text{П}} \cdot Q_{\text{зак}} \quad (6)$$

$$F \leq F_{\max} = 286 H_E^2 \cdot K_{\text{прон}}^2 \quad (7)$$

$$F \leq F_{\max} = 1538 \alpha_{\text{ПС}} \cdot K_{\text{П}} \quad (8)$$

$$F \leq F_{\max} = 0.33 H_E^2 \cdot \rho_{\text{ИК}} \quad (9)$$

$$F \leq F_{\max} = 1.82 H_E^2 \cdot K_{\text{прон}}^2 \cdot \rho_{\text{ИК}}^2 \quad (10)$$

при этом успешность будет равна 100%;

$$F_{\max} < F < F_{50} = 4 \cdot 10^{-2} H_E \cdot \alpha_{\text{ПС}}^2 \cdot K_{\text{П}} \cdot Q_{\text{зак}} \quad (11)$$

$$F_{\max} < F < F_{50} = 588 H_E^2 \cdot K^2 \quad (12)$$

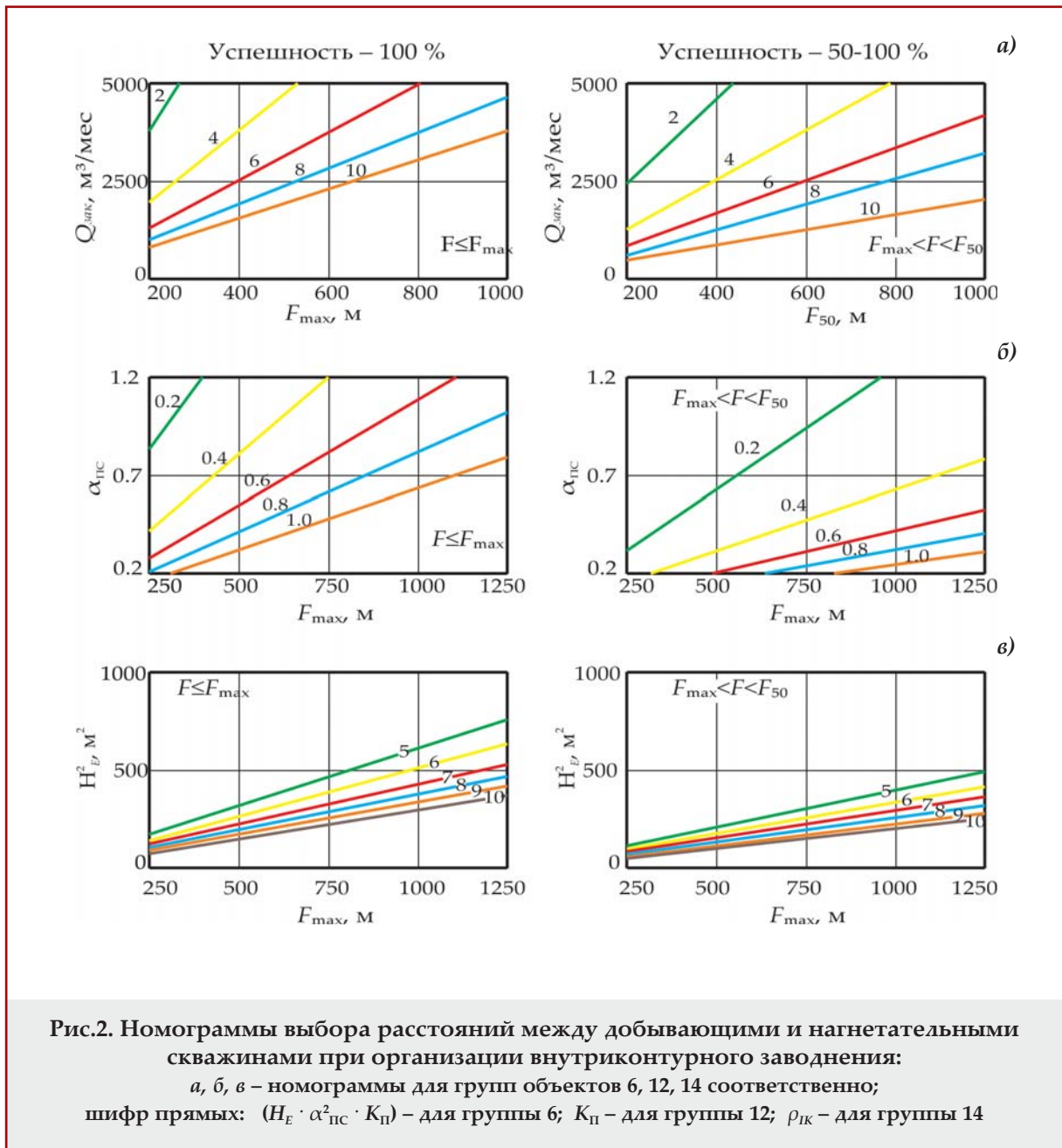
$$F_{\max} < F < F_{50} = 4000 \alpha_{\text{ПС}} \cdot K_{\text{П}} \quad (13)$$

$$F_{\max} < F < F_{50} = 0.5 H_E^2 \cdot \rho_{\text{ИК}} \quad (14)$$

$$F_{\max} < F < F_{50} = 5.0 H_E^2 \cdot K_{\text{прон}}^2 \cdot \rho_{\text{ИК}}^2 \quad (15)$$

при этом успешность будет изменяться от 50 до 100%.

В номограммном виде зависимости по 6, 12, 14 группам объектов представлены на рисунке 2. При практическом использовании этих номограмм необходимо стремиться к тому, чтобы выбранное расстояние между добывающими и нагнетательными скважинами при средних значениях  $H_E$ ,  $\rho_{\text{ПС}}$ ,  $\rho_{\text{ИК}}$ ,  $K_{\text{П}}$  было меньше  $F_{\max}$ . В случае, если разбури-



вание по столь плотной сетке скважин невозможно из экономических соображений, расстояние между скважинами должно быть меньше  $F_{50}$ . Если и это невозможно, то залежь необходимо разрабатывать с применением иных технологий, хотя в условиях юрских залежей нефти объектов группы 6 имеется возможность регулирования успешности путем применения объемов закачки при давлениях ниже 0.7 горного.

Таким образом, проведенное обобщение эффективности заводнения различных групп низкопродуктивных объектов в терригенных коллекторах Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции позволило предложить методический подход, основанный на использовании огра-

ниченного объема информации, не позволяющего использовать гидродинамические модели, которые могут быть использованы на стадии выхода месторождений из разведки для решения отдельных задач при поиске и обосновании стратегии разбуривания, систем заводнения, плотности сеток скважин и систем их размещения, необходимости использования нетрадиционных подходов к организации заводнения и добычи (использование горизонтальных, многозбойных, многоствольных скважин и т.д.), оптимальных забойных давлений и режимов работы добывающих и нагнетательных скважин с целью активного вовлечения в разработку залежей с низким уровнем рентабельности.

#### Литература

1. Economides, J. M. & Nolte, K. I. (2000). Reservoir stimulation. *West Sussex, England: John Wiley and Sons*.
2. Муслимов, Р. Х. (2014). Нефтеотдача: прошлое, настоящее, будущее (оптимизация добычи, максимизация КИН). *Казань: ФЭН*.
3. Андреев, А. В., Мухаметши, В. Ш., Котенев, Ю. А. (2016). Прогнозирование продуктивности залежей в карбонатных коллекторах с трудноизвлекаемыми запасами. *SOCAR Proceedings*, 3, 40-45.
4. Керимов, Н. С., Гусейнова, Д. Ф., Юсифова, Ш. Ф. (2013). Оценка начальных извлекаемых запасов горизонта верхний мел месторождения «Мурадханлы» методами моделирования. *SOCAR Proceedings*, 2, 56-59.
5. Мухаметшин, В. В. (2018). Обоснование трендов повышения степени выработки запасов нефти нижнемеловых отложений Западной Сибири на основе идентификации объектов. *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*, 329(5), 117-124.
6. Индрупский, И. М., Шупик, Н. В., Закиров, С. Н. (2013). Повышение эффективности поддержания пластового давления на основе опережающего заводнения. *Технологии нефти и газа*, 3(86), 49-55.
7. Yakupov, R. F., Mukhametshin, V. Sh., Tyncherov, K. T. (2018). Filtration model of oil coning in a bottom water-drive reservoir. *Periodico Tche Quimica*, 15(30), 725-733.
8. Курамшин, Р. М., Бриллиант, Л. С., Ревенко, В. М. (1989). Экспресс-метод оценки коэффициента охвата / в сборнике научных трудов «Проблемы геологии и разработки нефтяных месторождений Западной Сибири». *Тюмень: СибНИИИП*, 149-155.

#### References

1. Economides, J. M. & Nolte, K. I. (2000). Reservoir stimulation. *West Sussex, England: John Wiley and Sons*.
2. Muslimov, R. Kh. (2014). Oil recovery: past, present, future (production optimization, maximization of recovery factor). *Kazan: FEN*.
3. Andreev, A. V., Mukhametshin, V. Sh., & Kotenev, Yu. A. (2016). Deposit productivity forecast in carbonate reservoirs with hard to recover reserves. *SOCAR Proceedings*, 3, 40-45.
4. Kerimov, N. S., Huseynova, D. F., & Yusifova, Sh. F. (2013). Estimation of the initial recoverable reserves of the top chalk horizon of «Muradkhanli» oilfield using modeling methods. *SOCAR Proceedings*, 2, 56-59.
5. Mukhametshin, V. V. (2018). Rationale for trends in increasing oil reserves depletion in Western Siberia cretaceous deposits based on targets identification. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 329(5), 17-124.
6. Indrupskiy, I. M., Shupik, N. V., & Zakirov, S.N. (2013). Improving pressure maintenance by advance waterflooding. *Oil and Gas Technologies*, 3(86), 49-55.
7. Yakupov, R. F., Mukhametshin, V. Sh., Tyncherov, K. T. (2018). Filtration model of oil coning in a bottom water-drive reservoir. *Periodico Tche Quimica*, 15(30), 725-733.
8. Kuramshin, R. M., Brilliant, L. S., & Revenko, V. M. (1989). Express method for coverage ratio estimating / in «Problems of geology and development of Western Siberia oil fields». *Tyumen: SibNIINP*, 149-155.

9. Юрьев, А. Н. (1986). Метод идентификации песчаности в вероятностно-статистической модели прерывистого нефтяного пласта /в сборнике научных трудов «Вопросы интенсификации разработки нефтяных месторождений Западной Сибири». Тюмень: СибНИИИП, 55-61.
10. Ахметов, Р. Т., Мухаметшин, В. В., Андреев, А. В., Султанов, Ш. Х. (2017). Некоторые результаты опробования методики прогноза показателя смачиваемости продуктивных пластов. *SOCAR Proceedings*, 4, 83-87.
11. Рамазанзаде, Э. Н. (2010). Выявление потенциальных ресурсов и эффективное освоение много-пластовых нефтяных месторождений Абшера, находящихся в поздней стадии разработки. *SOCAR Proceedings*, 1, 24-28.
12. Зейгман, Ю. В., Мухаметшин, В. Ш., Хафизов, А. Р., Харина, С. Б. (2016). Прогнозирование продуктивности залежей в карбонатных коллекторах с трудноизвлекаемыми запасами. *SOCAR Proceedings*, 3, 33-39.
13. Бриллиант, Л. С., Комягин, А. И. (2016). Формализованный подход к оперативному управлению заводнением нефтяного месторождения. *Нефть. Газ. Новации*, 2, 66-72.
14. Федоров, К. М., Тимчук, А. С. (2006). Анализ эффективности систем разработки нефтяных залежей в юрских отложениях на примере Ершового и Хохряковского месторождений. *Известия ВУЗов. Нефть и газ*, 3, 11-17.
15. Мухаметшин, В. В., Андреев, В. Е., Дубинский, Г. С. и др. (2016). Использование принципов системного геолого-технологического прогнозирования при обосновании методов воздействия на пласт. *SOCAR Proceedings*, 3, 46-51.
16. Чертенков, М. В. (2014). О подходах к разработке месторождений с трудноизвлекаемыми запасами в ОАО «ЛУКОЙЛ» /в сборнике докладов выездного совещания «Состояние и проблемы разработки трудноизвлекаемых запасов и месторождений, находящихся на поздней стадии». Пермь, 8-21.
17. Мухаметшин, В. В., Андреев, В. Е. (2018). Повышение эффективности оценки результативности технологий, направленных на расширение использования ресурсной базы месторождений с трудноизвлекаемыми запасами. *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*, 329(8), 30–36.
18. Пермяков, И. Г. (1975). Экспресс-метод расчета технологических показателей разработки нефтяных месторождений. Москва: Недра.
9. Yur'ev, A. N. (1986). Method for sandiness identification in the probability statistical model of intermittent oil reservoir /in «Questions of the Western Siberian oil fields development intensification». *Tyumen: SibNIINP*, 55-61.
10. Akhmetov, R. T., Mukhametshin, V. V., Andreev, A. V., & Sultanov, Sh. Kh. (2010). Some testing results of productive strata wettability index forecasting technique. *SOCAR Proceedings*, 4, 83-87.
11. Ramazanade, E.N. (2010). Revealing of potential resources and efficient development of Absheron polybedal fields, being at the late stage operation. *SOCAR Proceedings*, 1, 24-28.
12. Zeigman, Yu. V., Mukhametshin, V. Sh., Khafizov, A. R., & Kharina, S. B. (2016). Prospects of application of multifunctional well killing fluids in carbonate reservoirs. *SOCAR Proceedings*, 3, 33-39.
13. Brilliant, L. S. & Komyagin, A.I. (2016). A Formalized approach to the oil field flooding operational management. *Oil. Gaz. Novation*, 2, 66-72.
14. Fedorov, K. M. & Timchuk, A. S. (2006). Jurassic sediments oil deposits development systems effectiveness analysis in Ershovo and Hohryakov oil fields. *Higher Educational Institutions News. Oil and Gas*, 3, 11-17.
15. Mukhametshin, V. V., Andreev, V. E., Dubinsky, G. S., et al. (2016). The usage of principles of system geological-technological forecasting in the justification of the recovery methods. *SOCAR Proceedings*, 3, 46-51.
16. Chertenkov, M. V. (2014). On approaches to hard-to-recover reserves development in ОАО «LUKOIL» / in «Status and problems of hard-to-recover reserves and deposits at a late stage development». executive retreat proceedings. *Perm*, 8-21.
17. Mukhametshin, V. V. & Andreev, V. E. (2018). Increasing the efficiency of assessing the performance of techniques aimed at expanding the use of resource potential of oilfields with hard-to-recover reserves. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 329(8), 30–36.
18. Permyakov, I. G. (1975). Express-method of technological indicators calculation for oil fields development. *Moscow: Nedra*.

## **Обоснование систем заводнения низкопродуктивных залежей нефти в условиях ограниченного объема информации**

*В.В.Мухаметшин, Л.С.Кулешова*

Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Россия

### **Реферат**

Для условий различных групп низкопродуктивных залежей в терригенных коллекторах Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции, выходящих из разведки, предложен методический подход к решению отдельных задач при поиске и обосновании стратегии разбуривания, систем заводнения, плотности сеток скважин и систем их размещения, необходимости использования нетрадиционных подходов к организации заводнения и добычи (использование горизонтальных, многозабойных, многоствольных скважин и т.д.), оптимальных забойных давлений и режимов работы добывающих и нагнетательных скважин с целью активного вовлечения в разработку залежей с низким уровнем рентабельности. Подход базируется на использовании информации о залежах, которая может быть получена в достаточном объеме и с достаточной точностью на стадии проведения геолого-разведочных работ, когда использование гидродинамических моделей представляет определенные трудности. Показана необходимость дифференцированного подхода к решению задач с использованием метода аналогий.

**Ключевые слова:** выход месторождений из разведки; низкопродуктивные залежи; метод аналогий; внутриконтурное заводнение.

## **Məhdud informasiya şəraitində aşağı məhsuldar neft laylarının suvurma sistemlərinin əsaslandırılması**

*V.V.Muxamətsin, L.S.Kuleşova*

Ufa Dövlət Neft Texniki Universiteti, Ufa, Rusiya

### **Xülasə**

Qərbi Sibir neft-qaz vilayətinin kəşfiyyatdan çıxan terrigen kollektorlarında aşağı məhsuldar layların müxtəlif qrupları üçün səmərəlilik səviyyəsi aşağı olan layların işlənməyə aktiv cəlb edilməsi məqsədi ilə qazma strategiyasının, suvurma sistemlərinin, quyu torlarının sıxlığının və onların yerləşmə sistemlərinin axtarışı və əsaslandırılması, suvurma və hasilatın təşkilinə qeyri-ənənəvi yanaşmalardan, hasilat və vurucu quyuların optimal quyudibi təzyiqlərindən və iş rejimlərindən istifadə zərurəti vaxtı (üfqü, çoxquyudibli, çoxlüləli quyulardan istifadə və s.) müxtəlif məsələlərin həllinə metodik yanaşma təklif edilmişdir. Yanaşma geoloji-kəşfiyyat işlərinin aparılması mərhələsində hidrodinamik modellərdən istifadə müəyyən çətinliklər yaratdıqda laylar haqqında zəruri həcmdə və dəqiqlikdə alın bilən informasiyadan istifadəyə əsaslanır. Məsələlərin həllinə analogiyalar üsulundan istifadə ilə differensiallaşdırılmış yanaşma zərurəti göstərilmişdir.

**Açar sözlər:** yataqların kəşfiyyatdan çıxışı; az məhsuldar yataqlar; analogiyalar üsulu; konturdaxili suvurma.