

УДК 556.3

DOI: 10.31660/0445-0108-2024-4-84-95

Гидрогеологические исследования — инструмент познания нефтяной залежи

А. А. Лялин*, В. В. Васильев

ООО «Тюменский нефтяной научный центр», Тюмень, Россия

*aalyalin2@tnnc.rosneft.ru

Аннотация. При проведении анализа разработки нефтяного месторождения используется вся имеющаяся геолого-промысловая информация. Так как нефть находится в постоянном взаимодействии и сонахождении с водой, то гидрогеологическая информация, и особенно ее изменение в процессе разработки нефтяного месторождения, должна существенным образом влиять на результаты анализа. В статье исследована гидрогеологическая информация как инструмент познания нефтяной залежи. Сделана попытка классифицировать данную информацию. Определено влияние различной гидрогеологической информации на принятие конкретных решений. Отмечено, что наиболее ценную гидрогеологическую информацию можно получить только при разбуривании нефтяного месторождения. Указано перспективное использование качественной исходной гидрогеологической информации о расположении и движении краевых и подошвенных вод нефтяного месторождения для создания адаптивных систем заводнения. Поддерживается идея развития нормативного регулирования процесса получения и использования гидрогеологической информации на всех этапах: от поиска и разведки до разработки нефтяного месторождения.

Ключевые слова: гидрогеологическая информация, анализ разработки, эффективность контроля, заводнение, водонасыщенность, свойства и состав воды

Для цитирования: Лялин, А. А. Гидрогеологические исследования — инструмент познания нефтяной залежи / А. А. Лялин, В. В. Васильев. — DOI 10.31660/0445-0108-2024-4-84-95 // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. — 2024. — № 4. — С. 84–95.

Hydrogeological research is a tool for understanding oil deposits

Aleksandr A. Lyalin*, Vladimir V. Vasiliev

Tyumen Petroleum Research Center LLC, Tyumen, Russia

*aalyalin2@tnnc.rosneft.ru

Abstract. In the analysis of the development of an oil field, all available geological and field information is employed. Given the constant interaction and coexistence of oil and water, it is evident that hydrogeological information, particularly its evolution throughout the process of oil field development, should exert a significant influence on the analysis outcomes. This article considers the potential of hydrogeological information as a means of enhancing our understanding of an oil deposit. An attempt is made to classify this information. The effect of disparate hydrogeological information on particular decision-making processes is determined. It is observed that the most valuable hydrogeological information can be obtained exclusively during the drilling of an oil field. It is recommended that qualitative initial hydrogeological information on the location and movement of boundary and bottom waters of an oil field be used to create adaptive waterflooding systems. The proposal to establish a set of normative regulations governing the process of obtaining and utilizing hydrogeological information at all stages, from initial prospecting and exploration to the development of oil fields, has gained significant support.

Keywords: hydrogeological information, analysis of development, control efficiency, waterflooding, water saturation, properties and composition of water

For citation: Lyalin, A. A., & Vasiliev, V. V. (2024). Hydrogeological research is a tool for understanding oil deposits. *Oil and Gas Studies*, (4), pp. 84-95. (In Russian). DOI: 10.31660/0445-0108-2024-4-84-95

Введение

С целью определения эффективности разработки нефтяного месторождения необходимо проведение регулярного анализа. Одним из методов анализа является сравнение фактических параметров разработки с проектными. Определяются причины отклонения и подбираются способы устранения этих отклонений. Сравниваются параметры так называемых технологических показателей, характеризующих состояние разработки. Технологическими показателями для сравнения являются следующие: добыча, дебиты, фонд скважин, текущий коэффициент извлечения нефти, темпы отбора, обводненность и др. Анализ производится на основе массива геолого-промысловой информации, в составе которой законное место занимает гидрогеологическая информация. Рассмотрим, какой же объем именно гидрогеологической геолого-промысловой информации используется для анализа разработки нефтяных месторождений, а также определим потенциал ее использования при правильном подходе.

Для начала необходимо определиться, что же представляет собой гидрогеологическая информация, чтобы корректно найти ее признаки в объеме информации, используемой для анализа разработки нефтяных месторождений. Итак, гидрогеологическая информация — это информация о расположении во времени и пространстве недр воды, а также об изменении во времени и пространстве недр ее химического состава и физических свойств.

Основные направления анализа разработки нефтяного месторождения¹:

- уточнение геологического строения;
- определение текущего состояния разработки;
- определение выработки запасов;
- оценка эффективности системы контроля;
- оценка эффективности процесса разработки.

Рассмотрим каждое направление анализа на предмет присутствия и использования гидрогеологической информации.

Анализ с целью уточнения геологического строения

В процессе разработки нефтяного месторождения поступает новая геолого-промысловая информация о его геологическом строении, как из уже эксплуатируемых скважин, так и из вновь пробуренных. На основе полученных новых данных уточняется геологическое строение месторождения.

¹ РД 153-39.0-110-01. Методические указания по геолого-промысловому анализу разработки нефтяных и газонефтяных месторождений. – Введ. 2002-03-01. – М.: Наука, 2002. – 59 с.

При уточнении геологического строения нефтяного месторождения гидрогеологическая информация связана с уточнением положения водонефтяного контакта (ВНК), а также с определением перемещения ВНК в процессе разработки месторождения. Данные исследования по своей сути и объекту являются гидрогеологическими. По свойствам и составу подошвенной воды можно определить, сохраняется ли там исходная пластовая вода, которая долго взаимодействовала с нефтью и обогатилась органическими кислотами, растворяя при этом компоненты породы-коллектора и увеличивая пористость с улучшением проницаемости. Или же в подошвенной воде имеются свойства и компоненты закачиваемой в систему поддержания пластового давления (ППД) воды, что говорит о приходе рабочего агента.

При уточнении основных параметров пластов эксплуатационного объекта гидрогеологическая информация важна при определении влияния водонасыщенности на проницаемость.

При уточнении расчлененности эксплуатационного объекта и толщин пластов гидрогеологическая информация может использоваться для определения взаимосвязи пластов между скважинами. Для этого проводится гидропрослушивание по водоносным горизонтам для определения наличия связи между вскрытыми интервалами в соседних скважинах.

При уточнении показателя неоднородности пласта гидрогеологическая информация играет ключевую роль на поздней стадии разработки нефтяных месторождений, так как коллекторы 1-го и 2-го типов, то есть с коэффициентом песчаности более 0,7 и 0,7–0,5 на данной стадии оказываются полностью обводненными. Определение свойств и состава воды, а также ее динамики в данных коллекторах помогает подобрать оптимальные мероприятия для затруднения дренажа по данным пропласткам.

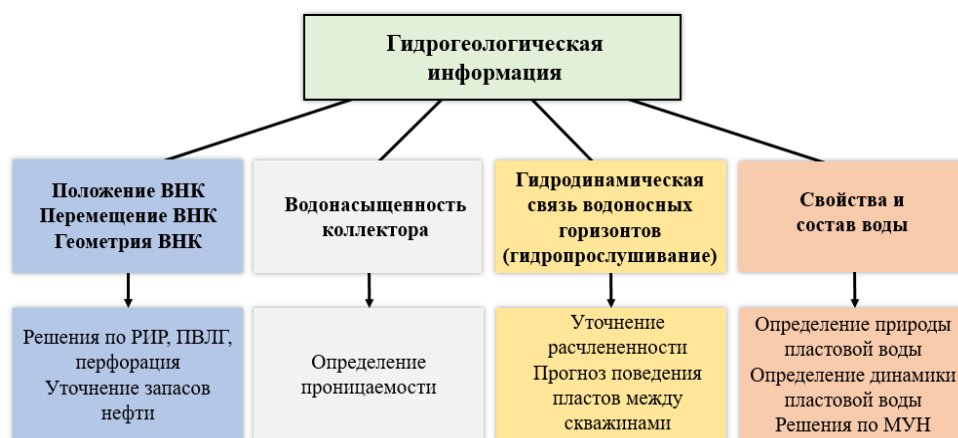
При уточнении физико-химических свойств и состава пластовых жидкостей наряду со свойствами нефти и попутных газов должны определяться свойства и состав пластовой воды. Это физико-химические свойства, такие как плотность, вязкость, минерализация, объемный коэффициент, сжимаемость, а также химический состав воды. Причем здесь важна новая гидрогеологическая информация как по воде нефтеносного пласта, так и по воде вновь вскрытых выше- и нижележащих водоносных пластов. Сравнение текущих свойств и состава воды нефтеносного пласта с данными из предыдущего проектного документа позволит оценить площадь распространения закачиваемой в систему ППД воды [1]. Информация по свойствам и составу воды вновь вскрытых водоносных пластов позволит при обводнении нефтяных скважин определить возможный источник обводнения, если вода перетекала из данных пластов.

Кроме того, использование гидрогеологической информации позволяет уточнить геометрию ВНК, которая зависит от геометрии пласта коллектора, а также от принятого уровня расположения ВНК — в зоне перепада к однофазной фильтрации воды с остаточной нефтенасыщенностью.

При природном течении пластовой воды нефтеносного пласта возможен наклон ВНК в направлении течения. При критических наклонах ВНК возможно вымывание нефти из ловушки, что может также усугубиться некорректным направлением закачки воды системы ППД, совпадающим с природным течением. Вымывание нефти из ловушки приведет к соответствующему изменению запасов нефти.

Таким образом, учет гидрогеологической информации позволяет уточнить геологическое строение нефтяного месторождения.

Влияние гидрогеологической информации на результаты анализа с целью уточнения геологического строения месторождения приведено на рисунке 1.



Примечание: РИР - ремонтно-изоляционные работы
ПВЛГ - переход (скважин) на вышележащий горизонт
МУН - методы увеличения нефтеотдачи

Рис. 1. Использование гидрогеологической информации при анализе разработки нефтяного месторождения с целью уточнения геологического строения

Анализ с целью определения текущего состояния разработки

Для определения достижения ключевых показателей разработки нефтяного месторождения, а также осложняющих факторов и возникших проблем выполняется анализ текущего состояния разработки.

При анализе работы фонда нагнетательных скважин можно определить площадное распределение источников закачиваемой воды. Эта информация также является гидрогеологической.

При уточнении характеристики отбора нефти, газа и воды гидрогеологическая информация связана с такими технологическими показателями, как годовая и накопленная закачка рабочего агента — воды, обводненность, компенсация отбора закачкой. Также гидрогеологическая информация используется при распределении отборов нефти и жидкости по пла-

стам при их совместной эксплуатации, когда для этих целей используется солевой состав воды в добываемой жидкости.

При уточнении характеристик системы воздействия на пласт, в случае если это воздействие заключается в заводнении, используется исключительно гидрогеологическая информация.

При уточнении характеристики энергетического состояния месторождения гидрогеологическая информация приобретает важное значение при водонапорном и упруго-водонапорном режимах. Гидрогеологическая информация используется при определении связи с законтурной областью, взаимодействии соседних месторождений единой водонапорной системы. При этом на разработку рассматриваемого месторождения может влиять как отбор жидкости на соседнем месторождении, что проявляется в аномально низком пластовом давлении, так и нагнетание воды в систему ППД соседнего месторождения, что проявляется обратным эффектом. Гидрогеологическая информация используется также при определении утечек в законтурную область при нагнетании в систему ППД, при определении перетоков между пластами [2]. В последнем случае используются как значения пластовых давлений, так и свойства и состав воды [3].

Уточнение динамики обводнения залежи при водонапорном режиме почти полностью основано на гидрогеологической информации. При этом выделяется обводнение за счет нагнетаемой воды, за счет приконтурных вод, за счет подъема ВНК — подошвенных вод. Все данные типы обводнения можно определить с помощью свойств и состава соответствующих вод, появившихся в скважинах.

Влияние гидрогеологической информации на результаты анализа с целью определения текущего состояния разработки приведено на рисунке 2.



Рис. 2. Использование гидрогеологической информации при анализе разработки нефтяного месторождения с целью определения текущего состояния разработки

Анализ с целью определения выработки запасов

При разработке нефтяного месторождения появляется новая информация, влияющая на оценку объемов запасов, как начальных, так и текущих. Для оценки реального текущего положения дел с запасами нефти проводится анализ выработки запасов.

При уточнении выработки запасов нефти при разработке с помощью заводнения гидрогеологическая информация используется для изучения влияния закачки, при определении охвата объектов разработки по площади и разрезу, а также при определении перемещения ВНК, послойно и по вертикали с подсчетом промытого объема ранее нефтеносного коллектора и остаточных запасов нефти с выявлением характера их распространения по площади и разрезу. В частности, участки локализации остаточных запасов нефти можно определить по минерализации пластовой воды, близкой к исходной, определенной до начала разработки месторождения.

Влияние гидрогеологической информации на результаты анализа с целью определения выработки запасов приведено на рисунке 3.



Рис. 3. Использование гидрогеологической информации при анализе разработки нефтяного месторождения с целью определения выработки запасов

Анализ с целью оценки эффективности системы контроля

В проектных документах на разработку нефтяных месторождений приводится объем необходимых исследований для получения информации о процессах, происходящих при разработке. Это делается с целью получения исходных данных для принятия управленческих решений и понимания эффективности предыдущих решений. Среди данных исследований важ-

ную роль играют свойства и состав воды, а также исследования по пространственному расположению воды по площади и разрезу нефтяного месторождения, в том числе в динамике. Влияние результатов таких исследований на результаты анализа разработки приведено на рисунках 1–3.

Анализ с целью оценки эффективности процесса разработки

Процессом разработки нефтяного месторождения необходимо управлять [4]. Основной метод управления — это метод, предполагающий изменение гидродинамических характеристик объектов разработки месторождения. Для определения эффективности таких изменений проводится анализ процесса разработки.

При оценке эффективности процесса разработки гидрогеологическая информация связана с изменением гидродинамических режимов работы нагнетательных скважин, то есть с нестационарным заводнением, а также с воздействием нагнетания на недренируемые участки месторождения. Также гидрогеологическая информация задействована в характеристиках вытеснения и геолого-технологических моделях.

Классификация гидрогеологической информации

Проанализировав, какая гидрогеологическая информация и как используется при анализе разработки нефтяного месторождения, объединим массивы информации в группы.

Во-первых, всю гидрогеологическую информацию можно разделить на информацию, получаемую при геологическом изучении нефтяного месторождения, и на информацию, которая получается во время эксплуатации месторождения (о ней идет речь в данной статье) (рис. 4).



Рис. 4. Разделение гидрогеологической информации по стадиям освоения нефтяного месторождения и ее значение

Во-вторых, гидрогеологическую информацию, которая формируется при эксплуатации нефтяного месторождения, можно разделить, конечно, с некоторой долей условности, на информацию о пространственном расположении воды на месторождении и на информацию о ее движении по пространству месторождения в процессе разработки (рис. 5).



Рис. 5. *Распределение массива гидрогеологической информации на стадии анализа разработки нефтяного месторождения*

Важность гидрогеологической информации

Исходя из того, какая гидрогеологическая информация и как используется при анализе разработки нефтяного месторождения, можно сделать вывод, что наиболее ценную информацию можно получить при разбуривании месторождения, когда оно еще не затронуто разработкой. Данная информация будет исходной. По ее дальнейшему изменению и можно будет судить о том, как идет процесс разработки. Но как раз получению данной информации, ее объему и качеству уделяется недостаточно внимания, на что указывают и другие исследователи [5]. Потребность получить такую информацию уже после ввода скважины в эксплуатацию обходится дорого, не говоря уже об ее искажении разработкой.

Получение на этапе разбуривания качественной исходной гидрогеологической информации о расположении и движении краевых и подошвенных вод нефтяного месторождения может помочь создать систему заводнения, позволяющую вписаться в естественное энергетическое состояние пласта, а не противостоять ему, что, возможно, часто случается. При-

мер такой ситуации приведен на рисунке 6, где видно, почему одна из нагнетательных скважин является лишней. Со стороны этой скважины существует естественный поток пластовых вод, и создание там еще дополнительного искусственного напора с соответствующими капитальными и операционными затратами явно нецелесообразно. Использование данного подхода может существенно сократить затраты на разработку месторождения [6].

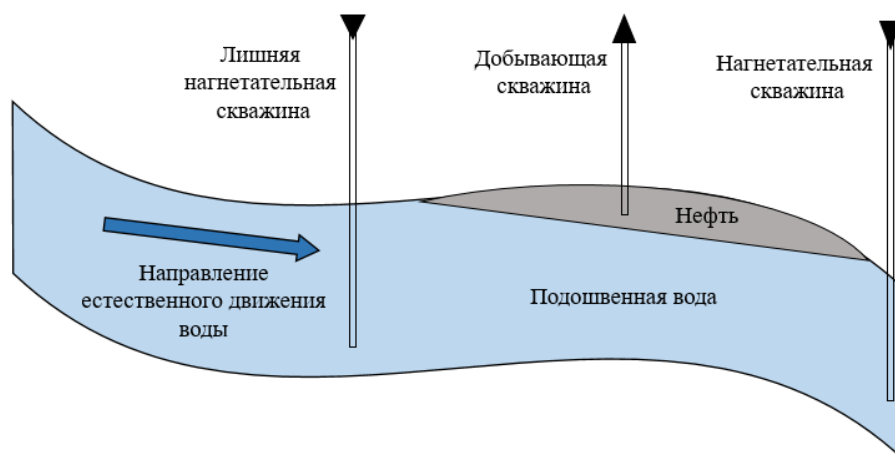


Рис. 6. Схема расположения нагнетательных скважин с учетом естественного потока пластовых вод

Также гидрогеологическая информация, полученная при разбуривании, может помочь в прогнозе направлений движения воды при заводнении и ее преимущественном движении в каком-либо из направлений, что позволит с помощью оптимального распределения отборов по площади минимизировать вероятность преждевременного обводнения скважин.

Как видно, массив гидрогеологической информации, которая используется при анализе разработки нефтяного месторождения, занимает значительную часть в общем объеме получаемой и анализируемой геолого-промысловой информации, что говорит о большом ее значении. Но ее необходимый и достаточный объем и качество недостаточно отрегулированы в нормативном плане. Анализ, проведенный в данной статье, подтверждает необходимость создания нормативного документа, регламентирующего получение и использование гидрогеологической информации от поиска и разведки до разработки нефтяного месторождения. Предлагается при создании данного документа использовать подход типизации решений, показывающий свою эффективность [7].

Выводы

1. Объем гидрогеологической информации, которая используется при анализе разработки нефтяного месторождения, занимает значительную

часть в общем объеме получаемой и анализируемой геолого-промысловой информации.

2. Использование гидрогеологической информации позволяет уточнить геологическое строение, ответить на вопросы о причинах обводнения скважин, определить выработку запасов углеводородного сырья и текущее состояние разработки, оценить эффективность процесса разработки в целом.

3. Наиболее ценную гидрогеологическую информацию можно получить только при разбуривании нефтяного месторождения, то есть при геологическом изучении, когда оно еще не затронуто разработкой. При дальнейшей актуализации гидрогеологической информации можно будет судить о том, как осуществляется процесс разработки.

4. Правильный учет гидрогеологической информации позволит создать эффективные системы разработки залежей при меньших финансовых затратах.

5. Ввиду важности данного направления в процессе разработки необходимо уделять внимание развитию нормативного регулирования процесса получения и использования гидрогеологической информации на всех этапах освоения месторождений.

Список источников

1. Лялин, А. А. Анализ условий применения гидрогеологических методов при разработке нефтяных месторождений / А. А. Лялин. – DOI 10.33285/0207-2351-2022-12(648)-40-44. – Текст : непосредственный // Нефтепромысловое дело. – 2022. – № 12 (648). – С. 40–44.
2. Снижение эффективности системы ППД при возникновении гидродинамической связи с водонасыщенными интервалами в водонефтяных зонах пласта / И. В. Владимиров, А. Ф. Шаймарданов, А. А. Хальзов, В. В. Васильев. – Текст : непосредственный // Нефтепромысловое дело. – 2009. – № 3. – С. 17–22.
3. Лялин, А. А. Гидрогеохимические исследования как дополнительный инструмент к анализу разработки нефтяных месторождений / А. А. Лялин, В. В. Васильев, А. В. Меркулов. – DOI 10.24412/2076-6785-2023-2-19-22. – Текст : непосредственный // Экспозиция Нефть Газ. – 2023. – № 2 (95) – С. 19–22.
4. Baker, R. Reservoir Management for Waterfloods - Part II / R. Baker. – Text : electronic // Journal of Canadian Petroleum Technology. – 1998. – Vol. 37, Issue 1. – URL: <https://doi.org/10.2118/98-01-DA>.
5. Корзун, А. В. Значимость гидрогеологической информации при разработке нефтяных месторождений / А. В. Корзун, В. Ю. Мастеркова. – Текст : непосредственный // Сборник научных трудов III научно-практической конференции по вопросам гидрогеологии и водообеспечения, Ижевск, 06–07 июля 2021 г. – Ижевск: МарШак, 2021. – С. 98–102.
6. Богданов, Н. С. Влияние гидрогеологических условий нефтяных месторождений на ожидаемую технико-экономическую эффективность их разработки / Н. С. Богданов. – Текст : непосредственный // Геология нефти и газа. – 2008. – № 6. – С. 53–55.

7. Лялин, А. А. Типовые решения в нефтяной гидрогеологии — шаг к эффективности принимаемых решений / А. А. Лялин, В. В. Васильев, А. Н. Кравченко. – DOI 10.33285/0207-2351-2022-10(646)-58-61. – Текст : непосредственный // Нефтепромысловое дело. – 2022. – № 10 (646). – С. 58–61.

References

1. Lyalin, A. A. (2022). Analysis of the conditions for the use of hydrogeological methods in the reservoir engineering of oil fields. *Oilfield Engineering*, (12(648)), pp. 40-44. (In Russian). DOI: 10.33285/0207-2351-2022-12(648)-40-44
2. Vladimirov, I. V., Shaymardanov, A. F., Khal'zov, A. A., & Vasil'ev, V. V. (2009). Snizhenie effektivnosti sistemy PPD pri vozniknovenii gidrodinamicheskoy svyazi s vodonasyshchennymi intervalami v vodoneftyanykh zonakh plasta. *Oilfield Engineering*, (3), pp. 17-22. (In Russian).
3. Lyalin, A. A., Vasiliev, V. V., & Merkulov, A. V. (2023). Hydrogeochemical studies as an additional tool for the analysis of oil field development. *Exposition Oil & Gas*, (2(95)), pp. 19-22. (In Russian). DOI: 10.24412/2076-6785-2023-2-19-22
4. Baker, R. (1998). Reservoir Management for Waterfloods - Part II. *Journal of Canadian Petroleum Technology*, 37(1). (In English). Available at: <https://doi.org/10.2118/98-01-DA>
5. Korzun, A. V., & Masterkova, V. Yu. (2021). Znachimost' gidrogeologicheskoy informatsii pri razrabotke neftyanykh mestorozhdeniy. *Sbornik nauchnykh trudov III nauchno-prakticheskoy konferentsii po voprosam gidrogeologii i vo-dooobespecheniya*, Izhevsk, July, 06-07, 2021. Izhevsk, MarShak Publ., pp. 98-102. (In Russian).
6. Bogdanov, N. S. (2008). Hydrogeological Conditions Effect of Oil Fields on the Expected Technical-Economic Efficiency of Their Development. *Russian Oil and gas geology*, (6), pp. 53-55. (In Russian).
7. Lyalin, A. A., Vasiliev, V. V., & Kravchenko, A. N. (2022). Typical solutions in petroleum hydrogeology - a step towards the effectiveness of decisions making. *Oilfield Engineering*, (10(646)), pp. 58-61. (In Russian). DOI: 10.33285/0207-2351-2022-10(646)-58-61

Информация об авторах / Information about the authors

Лялин Александр Александрович, эксперт группы типизации решений в геологии и разработке отдела выполнения и внедрения работ по системе новых технологий и опытно-промышленным испытаниям управления научно-технического развития, ООО «Тюменский нефтяной научный центр», г. Тюмень, aalyalin2@tnnc.rosneft.ru

Aleksandr A. Lyalin, Expert of Group of Solutions Typification in Geology and Reservoir Engineering of Department of Execution and Implementation of Works on the System of New Technologies and Pilot Tests of Division of Scientific and Technical Development, Tyumen Petroleum Research Center LLC, aalyalin2@tnnc.rosneft.ru

Васильев Владимир Васильевич,
кандидат технических наук, главный
менеджер группы типизации решений в
геологии и разработке отдела выполне-
ния и внедрения работ по системе но-
вых технологий и опытно-
промышленным испытаниям управле-
ния научно-технического развития,
ООО «Тюменский нефтяной научный
центр», г. Тюмень

Vladimir V. Vasiliev, Candidate of
Engineering, Chief Manager of Group of
Solutions Typification in Geology and
Reservoir Engineering of Department of
Execution and Implementation of Works
on the System of New Technologies and
Pilot Tests of Division of Scientific and
Technical Development, Tyumen Petrole-
um Research Center LLC

Статья поступила в редакцию 22.05.2024; одобрена после рецензирования
28.05.2024; принята к публикации 31.05.2024.

The article was submitted 22.05.2024; approved after reviewing 28.05.2024;
accepted for publication 31.05.2024.