

УДК 550.8.01:553.983

## АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ ЗАЛЕЖЕЙ УГЛЕВОДОРОДОВ В НЕСТАНДАРТНЫХ КОЛЛЕКТОРАХ В СВЯЗИ С РАЗРАБОТКОЙ МЕТОДОЛОГИИ ИХ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ ТИМАНО-ПЕЧОРСКОЙ ПРОВИНЦИИ

**Маракова И.А.**

*ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный технический университет», Ухта,  
e-mail: imarakova@ugtu.net*

Значительное внимание уделено условиям формирования залежей в нестандартных условиях структурно-тектонических зон, предгорных прогибов в Западно-Канадском, Аппалачском и Венесуэльском бассейнах, Тимано-Печорской провинции. В статье затрагивается тема восполнения минерально-сырьевой базы Тимано-Печорской провинции за счет новых объектов. В статье обобщен новый материал по исследуемой теме, в результате чего определены положения новой методологии прогнозирования и поиска залежей углеводородов в Тимано-Печорской провинции. Проведен сравнительный анализ условий формирования продуктивных отложений в тектонически активных нефтяных зонах за рубежом и нефтегазовых зонах в Тимано-Печорской провинции. За рубежом самые крупные месторождения нефти и газа находятся в Соединенных Штатах Америки и Канаде. В Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции открыто более 200 месторождений нефти и газа, значительная часть которых располагается на севере и востоке в пределах инверсионных валов, авлакоген-изостатических элементов и складчато-надвиговых зон. В настоящее время повышенный интерес возникает к изучению нетрадиционных источников углеводородов, условия формирования которых во многом схожи с условиями формирования нефтегазоносных сланцев в других нефтегазоносных бассейнах. На арктическом шельфе Тимано-Печорской провинции высоким нефтегенерационным потенциалом обладает среднеордовикско-нижнедевонский комплекс, что позволяет прогнозировать заполнение ловушек нефтью и образование промышленных залежей. Благоприятные условия для поиска подобных залежей имеются в пределах Большеземельского свода. На основе анализа геолого-геофизического материала о тектоническом развитии исследуемой территории, об обстановках осадконакопления, генерационном потенциале сделаны выводы о формировании областей нефтегазоносности в пределах изучаемых территорий Тимано-Печорской провинции.

**Ключевые слова:** предгорные прогибы, структурно-тектонические зоны, Тимано-Печорская провинция, нефтегазоносность, генерация нефти, условия формирования, сланцевая нефть

## ANALYSIS OF THE FORMATION CONDITIONS OF HYDROCARBONS DEPOSITS IN NON-STANDARD RESERVOIR IN CONNECTION WITH THE DEVELOPMENT OF THE METHODOLOGY OF THEIR FORECASTING IN THE TYMANO-PECHORSK PROVINCE

**Marakova I.A.**

*Ukhta State Technical University, Ukhta, e-mail: imarakova@ugtu.net*

Considerable attention is paid to the conditions of formation of deposits in non-standard conditions of structural-tectonic zones, foothill troughs in the Western Canadian, Appalachian and Venezuelan basins, Timan-Pechora province. The article touches upon the topic of replenishing the mineral resource base of the Timan-Pechora province at the expense of new objects. The article summarizes new material on the topic under study, as a result of which the provisions of a new methodology for forecasting and searching for hydrocarbon deposits in the Timan-Pechora province are determined. A comparative analysis of the conditions for the formation of productive sediments in tectonically active oil zones abroad and in oil and gas zones in the Timan-Pechora province is carried out. Abroad, the largest oil and gas fields are located in the United States of America and Canada. More than 200 oil and gas fields have been discovered in the Timan-Pechora oil and gas province, a significant part of which is located in the north and east within inversion swells, aulacogen-isostatic elements and thrust-fold zones. Currently, there is increased interest in the study of unconventional sources of hydrocarbons, the formation conditions of which are in many respects similar to the conditions of formation of oil and gas shales in the other oil and gas basins. On the arctic shelf of the Timan-Pechora province, the Middle Ordovician-Lower Devonian complex has a high oil-generating potential, which makes it possible to predict the filling of traps with oil and the formation of industrial accumulation. Favorable conditions for searching for such deposits are available within the Bolshezemel'skiy arch. Based on the analysis of geological and geophysical material on the tectonic development of the study area, about the sedimentation environments, oil and gas generation potential, conclusions are drawn about the formation of oil and gas bearing areas within the study areas of the Timan-Pechora province.

**Keywords:** foothill troughs, structural-tectonic zones, Timan-Pechora province, oil and gas content, oil generation, formation conditions, shale oil

Масштабы потребления энергетических ресурсов характеризуются весьма интенсивным ростом, поэтому важно поддерживать рост объема минерально-сырьевой

базы. На Российскую Федерацию (РФ) приходится почти 1/2 угольных ресурсов мира, примерно 1/7 часть мировых запасов нефти и 1/3 природного газа. Надо признать, что

сегодня существует реальная угроза дальнейшему развитию нефтегазового комплекса России, обусловленная недостаточной обеспеченностью ее ресурсной базы. В старых нефтегазоносных районах РФ с активной добычей углеводородов (УВ) объем запасов постепенно сокращается, и поэтому требуется увеличение ресурсной базы за счет новых объектов. Сегодня в теоретических и практических основах поиска месторождений отмечается переходный рубеж научного обоснования происхождения УВ на разных глубинах. Поэтому предметом промышленного интереса сегодня становится углеводородное сырье, содержащееся в традиционных нефтегазовых объектах с ухудшенными свойствами УВ и вмещающей породы, нефтегазоматеринских и сопряженных с ними низкопоровых толщах, а также метаморфизованных и магматических породах-коллекторах. Огромный опыт освоения таких толщ есть за рубежом.

Тимано-Печорская нефтегазоносная провинция является сегодня актуальной территорией для поиска новых залежей нефти и газа в пределах древних палеосводов, складчатых зон, авлакогенов, которые обладают значительными перспективами нефтегазоносности.

#### **Материалы и методы исследований**

Надо подчеркнуть, что в XXI веке наметилась тенденция сокращения запасов в уникальных, крупных и других по объемам месторождениях. За всю историю развития нефтегазового комплекса было открыто 14 уникальных месторождений в Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции, 4 в Волго-Уральской нефтегазоносной провинции. На сегодняшний день увеличивается количество открытий средних и мелких месторождений. Технический прогресс в разработке и добыче, увеличение объемов бурения стабилизирует и на малый процент увеличивает нефтедобычу в старейших нефтегазоносных районах Европейской части России. Совокупность этих фактов и потребность в восполнении ресурсной базы сделали необходимым поиск и освоение труднодоступных ресурсов нефти и газа, находящихся на большой глубине.

Сегодня во всем мире подходы к собственно углеводородной залежи значительно расширились. Следует сказать, что сейчас развиваются взгляды и подходы, которые отражают влияние энергетических, флюидодинамических процессов на формирование залежей нефти и газа. Тем не менее

механизм образования УВ более масштабнее, чем термодинамически простой, многоступенчатый термолиз органики, аккумулятивной в изолированных осадочных бассейнах прошлых геологических эпох. Мы обязаны учитывать не только законы микромира, но и квантовые механизмы, и многомерную квантовую логику [1; 2].

В научных публикациях В.П. Гаврилова раскрываются геодинамические подходы к нефтегазообразованию [3]. Им предложены рифтогенная и субдукционно-обдукционная модели нефтегазообразования.

Рифтогенная модель нефтегазообразования по В.П. Гаврилову заключается в том, что тепловой поток, идущий от мантии, активизирует процессы переработки органики, находящейся в мощной толще осадков, которые заполняют рифты и надрифтовые депрессии.

Субдукционно-обдукционная модель нефтегазообразования подразумевает образование нефти и газа в субдукционно-обдукционных структурах, куда рассеянные нефть и газ мобилизуются из сжимаемых осадочных толщ, а также за счет поступления углеводородов из зон поддвига с водоминеральным потоком. Как считает автор, в этом состоит механизм обогащения УВ осадочных толщ Предуральского краевого предгорного прогиба и Припайхойско-Приюжноновоземельского перикратона.

По данным Т.А. Киреевой, В.К. Утопленникова, перспективы нефтеносности фундамента связываются с его тектоническим строением. Здесь к рифтовым зонам и зонам разломов (Шаимский вал, Краснотенский свод, Уренгойский рифт) приурочены крупные нефтяные и газонефтяные месторождения. В Тимано-Печорской провинции также перспективами нефтеносности обладают отложения рифейского возраста. Они связаны с рифовыми постройками, которые установлены в обнажениях и скважинах Тимана, Вычегодского прогиба, восточного склона Татарского свода, Башкирского антиклинория, Приполярного Урала, Пай-Хоя. По данным Богданова Б.П., зарождение построек происходило на границах тектонических блоков вдоль разломов, их систем, на иных поднятиях морского дна [4]. Что касается углеводородных систем, находящихся в осадочном чехле на глубинах 2–3 км, то общепризнанно, что наиболее значимым и первоочередным объектом являются нетрадиционные коллекторы в баженовской свите Западной Сибири. В Тимано-Печорской провинции новым

потенциальным источником нефтяных и газовых ресурсов являются карбонатные отложения доманиковых фаций верхнего девона, которые распространены практически повсеместно на глубинах от 1000 до 5000 м.

В настоящее время определены основные закономерности стратиграфического распространения, условий образования и латерального распространения, выполнена оценка масштабов генерации УВ, обоснованы геофизические и геохимические параметры и рассчитаны плотности геологических ресурсов. Следует отметить, что повышенное содержание органического вещества приурочено к зонам проявления магматизма и может быть объяснено тем, что процессы нефтеобразования и нефтегазоаккумуляции в доманиковых отложениях связаны с историей становления земной коры региона, магматизма и деструкцией, образованием сквозных зон проницаемости, протеканием флюидодинамических и гидротермальных процессов, обеспечивающих условия для формирования восстановленных систем, миграции и локализации [5].

#### Результаты исследования и их обсуждение

Западно-Канадский прогиб представляет собой предгорный осадочный бассейн, сформировавшийся в условиях горизонтального сжатия в процессе субдукции. На месторождениях тяжелой нефти в Канаде изначально нефть находилась на большей

глубине, вязкость была намного ниже, чем сейчас, и нефть перемещалась вверх-вниз по гидродинамически сообщающимся пластам. Основным каналом миграции флюидов были терригенные отложения мелового возраста, которые оказали большое влияние на гидродинамику бассейна. Нефть была помещена в стратиграфические ловушки. По мнению автора, к состоянию высокой вязкости нефти привели потеря легких углеводородных материалов и их массивная биodeградация на небольших глубинах.

Восточно-Венесуэльский бассейн имеет синклиналичную структуру, аналогичную Западно-Канадскому бассейну. Тектоническая структура бассейна образовалась в результате бокового или горизонтального сжатия со стороны горной системы Анд и горизонтального смещения пород с востока на запад (рис. 1).

Продуктивные отложения имеют речное и морское происхождение. По-видимому, существовали устьевые и дельтовые равнины, образованные реками, которые осушали Гайанский щит на юге. По мере изменения уровня моря зона осаднения осадочного материала смещалась. В разрезе присутствует много несогласий. Нефтематеринские породы, находящиеся на глубине, генерировали УВ, которые перемещались в южном направлении, подвергаясь биodeградации, поглощавшей более легкие фракции УВ. В Канаде и Венесуэле запасы нетрадиционной нефти колоссальны.



Рис. 1. Оринокский нефтегазоносный бассейн (по Н.А. Кицису, с дополнениями автора)





Рис. 2. Преаппалачский нефтегазоносный бассейн (по М.Р. Хоботу, с дополнениями автора)

Аппалачский бассейн представляет собой асимметричную впадину, образованную в аллеганскую фазу складчатости. На территории Северо-Американской плиты (от Аппалачей на востоке до Скалистых гор) сланцевые толщи в тектоническом отношении приурочены к впадинам и прогибам. В среднедевонское и нижнекаменноугольное время в анаэробных условиях начали формироваться черные сланцы [6]. Нефтеносные сланцы Игл Форд (Eagle Ford Shale) были открыты в Мексиканском заливе в 2008 г. Формация Eagle Ford – это черный известняковый сланец с высоким содержанием органического углерода, который распространен в юго-восточной части

Техаса. Для формации не присуща природная трещиноватость, характерная для других бассейнов сланцевого газа. Основным способом эксплуатации сланцевых углеводородов является вертикально-горизонтальное бурение и многостадийный гидроразрыв пласта.

Марселлус (средний девон) является самым крупным известным скоплением сланцевого газа в мире. Отложения богаты органическим веществом, также известны как сланец Марселлус (рис. 2).

Значения термической зрелости (основанные на измерениях отражательной способности витринита ( $R_o$ ) в образцах керна) в сланцах Марселлус обычно увеличивают-

ся в юго-восточном направлении, в диапазоне от 0,5% до более 3,5% в Аппалачском бассейне. Литологическая неоднородность контролируется осадочными и диагенетическими процессами.

Бассейн Кыу Лонг во Вьетнаме представляет собой рифтовую зону, развитую в период от олигоцена до раннего миоцена. Разлом прослежен в юрских и позднемеловых гранитно-гранодиоритовых интрузиях. Вполне вероятно, что углеводороды здесь мигрировали из самых зрелых отложений в системы разломов внутри гранита.

РФ располагает значительным объемом ресурсов УВ сырья, находящихся в нестандартных условиях. Значительные ресурсы и запасы содержатся в баженовской свите Западной Сибири. Не менее перспективными объектами для научных исследований и геологоразведочных работ считаются нестандартные коллекторы в Тимано-Печорской провинции.

Доманиковые фации Тимано-Печорской провинции формировались в морских обстановках осадконакопления, как следствие продолжительного некомпенсированного прогибания с невысокими скоростями седиментации. Представлены переслаиванием битуминозных сланцев, с битуминозными известняками. Вскрыты в Тимано-Печорской провинции около 1500 скважинами. Скопления нефти в нетрадиционных толщах также приурочены к складчато-надвиговым поясу Урала и присутствуют в пределах Предуралья Краевого прогиба. В сравнении с зарубежным опытом это предполагает значительные перспективы нефтегазоносности данной зоны. Должное внимание к ее изучению позволит повысить эффективность поисков крупных месторождений с применением новых методик их поиска. Пустотное пространство коллекторов домаников представлено трещинами. Продуктивность доманиковых отложений доказана на целом ряде площадей и месторождений Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции. Встречаются нефти различной вязкости (от 8 до 110 мПа·с) и плотности (от 0,7 до 0,9 г/см<sup>3</sup>), малосернистые, высокосмолистые. На территории Тимано-Печорской провинции в зонах проявления магматизма установлена связь истории становления земной коры региона с процессами нефтеобразования и нефтегазонакопления доманиковых отложений.

Высокая перспективность малоизученного надкарбонатного пермско-триасово-юрского комплекса доказана единичными

открытиями месторождений в пределах континентальной части, а также на шельфе, от мелких до уникальных (Харьягинское, Лабаганское, Южно-Торавейское, Северо-Гуляевское, Варандей-море, Поморское и др.). Как правило, эти открытия имели эпизодический характер и в континентальной части являлись попутными. Очень перспективная на открытие новых крупных залежей УВ в надкарбонатном терригенном комплексе Коротаихинская впадина. Перспективы связаны с литологическими и экранированными ловушками, сформировавшимися в зоне распространения аллювиально-дельтовых и прибрежно-морских осадков. Зональными и локальными флюидоупорами для залежей служат однообразные внутрикомплексные межпластовые глинистые пачки различной мощности [7].

Значительные толщины, удовлетворительные фильтрационно-емкостные свойства среднеордовикско-нижнедевонского нефтегазоносного комплекса (НГК), наличие промышленных притоков УВ из него являются основанием для выделения этого НГК как одного из наиболее перспективных объектов для поисков залежей УВ. В формировании НГК основную роль сыграла рифтовая стадия развития и предверхнедевонский региональный перерыв в осадконакоплении, когда толщи силурийско-нижнедевонских отложений были выведены на поверхность и подверглись глубокому размыву, сопровождаясь интенсивными денудационными и эрозионными процессами с выщелачиванием и доломитизацией карбонатов. Эти процессы способствовали образованию вторичных, сложнопостроенных коллекторов порово-трещинно-кавернового типов. В тиманско-саргаевское время над этими коллекторами формировалась надежная глинистая покрывка. Большинство месторождений УВ в среднеордовикско-нижнедевонском комплексе открыто в верхней его части непосредственно под тиманской региональной покрывкой. Основанием для целенаправленного изучения и опробования нижней части ордовикско-нижнедевонского комплекса является получение притока УВ из ордовикских отложений в скважине 1-Воргамусюрская в пределах гряды Чернышева.

Для анализа нефтегенерационного потенциала рассматриваемых отложений были составлены модели их прогрева. К примеру, бассейновые палеорекострукции на территории Коротаихинской впадины показывают, что образование нефтей в вероятных

верхнесилурийско-нижнедевонских нефтегазоматеринских породах (НГМП) могло начаться к началу карбона, в доманикитах среднего франа-турне – к началу перми. Нижнепермские НГМП на северо-востоке впадины вступили в главную зону нефтегазообразования уже в верхней перми. В триасе в северной части впадины значительная часть нижнепермских отложений вошла в зону апокатагенеза, в то время как на юге отложения достигли главной зоны нефтегазообразования. Нефтегенерационный потенциал был полностью реализован к началу триаса, когда началось наиболее быстрое и высокоамплитудное погружение Коротаихинской впадины. Из этого следует, что первоначальные условия аккумуляции углеводородов в Коротаихинской впадине были вполне благоприятны.

Нефтегазоматеринские породы ордовикско-нижнедевонского НГК в пределах большеземельского свода представлены глинистыми и карбонатно-глинистыми породами с содержанием Сорг более 6%. Нефтегенерационный потенциал реализован на 70–75%.

Анализ нефтегенерационного потенциала, нефтегазоносности, тектонического и фациального развития исследуемых территорий позволил выделить тектоно-фациально-эволюционно-динамические зоны концентрации нефтегазоносности: Коротаихинскую, Большеземельскую и Предуральскую. Ловушки в этих зонах формировались под воздействием: 1) первичного тектонического фактора, отвечающего за формирование рельефа; 2) гидродинамической расчлененности среды; 3) седиментационно-литологического фактора; 4) вторичного тектонического фактора (изменение геометрии слоев, изменение коллекторских свойств с глубиной). Вероятность заполнения УВ имеющихся в выделенных зонах нефтегазоперспективных ловушек высокая. Так, в терригенных отложениях пермского возраста в Коротаихинской впадине разместилось 10,95 млрд т нефти и 115 трлн м<sup>3</sup> газа.

### Выводы

1. Выполнен анализ условий формирования залежей углеводородов в нестандартных условиях и условиях предгорных прогибов в Западно-Канадском, Аппалачском и Венесуэльском бассейнах, Тимано-Печорской провинции.

2. Со складчатыми поясами и передовыми прогибами в мире связаны крупнейшие

скопления нефти и газа в Канаде, Венесуэле и США. В Российской Федерации значительными по запасам и ресурсам являются скопления УВ в нижнепалеозойских карбонатах, «доманикитах» и надкарбонатном терригенном пермско-мезозойском комплексе, размещенные в складчатых и структурно-тектонических зонах Тимано-Печорской провинции.

3. Исследованы зависимости между глубиной геодинамикой литосферных плит, формированием осадочного чехла и нефтегазоносных структур. Тектоническая ситуация создавала благоприятные условия для миграции первичных УВ из нефтегазоматеринских пород, и в связи с этим прослеживаются закономерности их размещения по глубине.

4. Следует подчеркнуть, что впервые на территории Тимано-Печорской провинции в зонах проявления магматизма установлена связь истории становления земной коры региона с процессами нефтеобразования и нефтегазонакопления доманиковых отложений.

В связи с этим предлагается методология тектоно-фациально-эволюционно-динамического прогнозирования и оценки наличия залежей углеводородного сырья в терригенных и карбонатных отложениях, которая заключается в выделении тектоно-фациально-эволюционно-динамических зон концентрации нефтегазоперспективных ловушек, отражающих влияние энергетических процессов на формирование будущих залежей нефти и газа.

### Список литературы / References

1. Грунис Е.Б., Барков С.Л. Проблемы и пути реализации инновационного комплексирования геолого-геофизических исследований на поздней стадии разработки месторождений // Георесурсы. 2013. № 4 (54). С. 28–34.

Grunis E.B., Barkov S.L. Problems and ways to implement innovative integration of geological and geophysical research at the late stage of field development // Georesursy. 2013. No. 4 (54). P. 28–34 (in Russian).

2. Грунис Е.Б., Барков С.Л., Епифанов А.А., Мишина И.Е. Состояние ресурсной базы углеводородного сырья России и актуальные проблемы нефтегазогеологической науки // Геология нефти и газа. 2016. № 5. С. 32–45.

Grunis E.B., Barkov S.L., Epifanov A.A., Mishina I.E. The state of the resource base of hydrocarbon raw materials in Russia and topical problems of oil and gas geological science // Geologiya nefiti i gaza. 2016. No. 5. P. 32–45 (in Russian).

3. Гаврилов В.П. Возможные механизмы естественного восполнения запасов на нефтяных и газовых месторождениях // Геология нефти и газа. 2008. № 1. С. 56–64.

Gavrilov V.P. Possible mechanisms of natural replenishment of reserves in oil and gas fields // Geologiya nefiti i gaza. 2008. No. 1. P. 56–64 (in Russian).

4. Богданов Б.П. Волго-Тиманский и Восточно-Европейский рифейские барьерные рифы как индикаторы структурно-формационной зональности верхнего докембрия Вос-

точно-Европейской платформы (в связи с перспективами нефтегазоносности) // Геодинамика, вещество, рудогенез Восточно-Европейской платформы и ее складчатого обрамления: материалы всероссийской научной конференции. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УРО РАН, 2017. С. 22–27.

Bogdanov B.P. Volga-Timan and East European Riphean barrier reefs as indicators of the structural-formational zoning of the Upper Precambrian of the East European platform (in connection with the oil and gas potential) // *Geodinamika, veshchestvo, rudogenez Vostochno-Yevropeyskoy platformy i yeye skladchatogo obramleniya: materialy vs Rossiyskoy nauchnoy konferentsii*. Syktyvkar: IG Komi NTS URO RAN, 2017. P. 22–27 (in Russian).

5. Грунис Е.Б., Варламов А.И., Ростовщиков В.Б., Маракова И.А. Состояние, пути наращивания сырьевой базы углеводородов в Российской Федерации и проблемы геологического моделирования // Новые идеи в геологии нефти и газа-2019: материалы международной научно-практической конференции. М.: Издательство «Перо», 2019. С. 138–145.

Grunis E.B., Varlamov A.I., Rostovshchikov V.B., Marakova I.A. State, ways of increasing the raw material base of

hydrocarbons in the Russian Federation and problems of geological modeling // *Novyye idei v geologii nefi i gaza-2019: materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. M.: Izdatel'stvo «Pero», 2019. P. 138–145 (in Russian).

6. Ульмасвай Ф.С., Базаревская Н.И. Тектоническая приуроченность и геологическое строение плеев сланцевого газа и нефти // *Георесурсы*. 2013. № 2 (52). С. 21–25.

Ulmavay F.S., Bazarevskaya N.I. Tectonic confinement and geological structure of shale gas and oil plays // *Georesursy*. 2013. No. 2 (52). P. 21–25 (in Russian).

7. Маракова И.А., Ростовщиков В.Б., Колоколова И.В. Перспективы открытия новых месторождений углеводородов в Тимано-Печорской провинции // Геология и минеральные ресурсы Европейского Северо-Востока России: материалы XVII Геологического съезда Республики Коми. Т. III. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УРО РАН, 2019. С. 142–149.

Marakova I.A., Rostovshchikov V.B., Kolokolova I.V. Prospects for the discovery of new hydrocarbon deposits in the Timan-Pechora province // *Geologiya i mineral'nyye resursy Yevropeyskogo Severo-Vostoka Rossii: materialy XVII Geologicheskogo s'yezda Respubliki Komi*. T. III. Syktyvkar: IG Komi NTS UrO RAN, 2019. P. 142–149 (in Russian).