

# Интегральный подход в оценке качества сложных карбонатных коллекторов (на примере месторождений им. Р. Требса и им. А. Титова)

Рыкус М.В.<sup>1, 2</sup>, Сулейманов Д.Д.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ООО «РН-БашНИПнефть», Уфа, Россия, <sup>2</sup>Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Россия  
rykusmv@bnipi.rosneft.ru

## Аннотация

В статье охарактеризованы особенности осадконакопления и постседиментационного преобразования карбонатного рамп в пределах месторождений им. Р. Требса и им. А. Титова Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции. Результаты исследования, основанные на интеграции седиментологических, структурных и промысловых данных, могут быть использованы для лучшего понимания неоднородности карбонатного коллектора и снижения неопределенностей в проектировании добывающих горизонтальных скважин. Петрофизические свойства коллекторов определяются фаціальными условиями осадконакопления и развитием зон трещиноватости, обеспечивающих повышенные дебиты добывающих скважин.

## Материалы и методы

Материалы: геологические, седиментологические, тектонические и структурные карты Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции; фаціальные карты, разрезы, схемы корреляции, карты разломной тектоники и трехмерные фаціальные модели продуктивных отложений месторождений им. Р. Требса и им. А. Титова.

Методы: фаціальный и циклостратиграфический анализ, структурный анализ и построение распределений, анализ сейсмических атрибутов.

## Ключевые слова

доломит, коллектор, фация, циклостратиграфия, карбонатный рамп, трещиноватость, горизонтальная скважина

## Для цитирования

Рыкус М.В., Сулейманов Д.Д. Интегральный подход в оценке качества сложных карбонатных коллекторов (на примере месторождений им. Р. Требса и им. А. Титова) // Экспозиция Нефть Газ. 2022. № 6. С. 18–22. DOI: 10.24412/2076-6785-2022-6-18-22

Поступила в редакцию: 05.10.2022

GEOLOGY

UDC 553.98 | Original Paper

## An integral approach to assessing the quality of complex carbonate reservoirs (on the example of the R. Trebs and A. Titov fields)

Rykus M.V.<sup>1, 2</sup>, Suleymanov D.D.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>“RN-BashNIPneft” LLC, Ufa, Russia, <sup>2</sup>Ufa state petroleum technological university, Ufa, Russia  
rykusmv@bnipi.rosneft.ru

## Abstract

The article describes the features of sedimentation and post-sedimentary transformation of the carbonate ramp within the fields named after R. Trebs and A. Titov of the Timan-Pechora oil and gas province. The results of the study, based on the integration of sedimentological, structural and field data, can be used to better understand the heterogeneity of the carbonate reservoir and reduce uncertainties in the design of producing horizontal wells. The petrophysical properties of the reservoirs are determined by the facies conditions of sedimentation and the development of fracture zones, which provide increased flow rates of producing wells.

## Materials and methods

Materials: geological, sedimentological, tectonic and structural maps of the Timan-Pechora oil and gas province; facies maps, sections, correlation schemes, fault tectonics maps, and 3D facies models of productive deposits of the R. Trebs and A. Titov fields.

Methods: facies and cyclostratigraphic analysis, structural analysis and construction of distributions, analysis of seismic attributes.

## Keywords

dolomite, reservoir, facies, cyclostratigraphy, carbonate ramp, fracturing, horizontal well

## For citation

Rykus M.V., Suleymanov D.D. An integral approach to assessing the quality of complex carbonate reservoirs (on the example of the R. Trebs and A. Titov fields). Exposition Oil Gas, 2022, issue 6, P. 18–22. (In Russ). DOI: 10.24412/2076-6785-2022-6-18-22

Received: 05.10.2022

Карбонатный коллектор месторождения им. Р. Требса и А. Титова относится к категории сложных коллекторов из-за большого разнообразия структурно-генетических типов пород, фаций, поровых структур и наличия тектонических нарушений, в частности, трещиноватости и разломов [1, 2]. Сочетание разнообразных факторов осадконакопления и преобразования порождает разномасштабные неоднородности карбонатного резервуара и создает значительные риски при проводке горизонтальных добывающих скважин. В этой связи для минимизации сложного комплекса проблем требуется интеграция целого ряда геологических данных, включая:

- пространственную изменчивость литофаций с учетом проградационного развития карбонатного бассейна;
- цикличность фациальных ассоциаций и циклостратиграфию в построении стратиграфического каркаса;
- постседиментационные преобразования в связи с тектонической историей развития региона.

Как показали результаты выполненных исследований, именно такой комплексный подход в создании геологической модели месторождения, сочетающий литофации и постседиментационный тектогенез, вместе с измеренными петрофизическими характеристиками, позволяет наилучшим образом получить объективные представления об изменчивости свойств коллектора и использовать их для принятия технологических решений.

#### Методика исследования

Методология восстановления фациальных обстановок осадконакопления включала установление вертикальных и латеральных взаимоотношений литотипов и микрофаций, использование знаний о современных процессах и обстановках седиментации и литогенеза. Интерпретация энергетических уровней и условий осадконакопления каждой фации основывалась на общепринятых характеристиках ее составляющих: количестве матрикса, типе и характере зерен, наличии/отсутствии скелетных частиц и характере биокластических компонентов. Генетически родственные фации группировались в фациальные ассоциации. Достоверность выделенных фаций проверялась путем сравнения с известными аналогами, подробно освещенными в литературных источниках [3, 4].

Седиментологические и структурные исследования сопровождалась интерпретацией скважинного каротажа: плотностного, акустического, электрического и гамма-каротажа (ГК), давших представление о непрерывной стратиграфической архитектуре отложений и наличии потенциальных зон трещиноватости. Цикличность отложений определялась по упорядоченной смене карбонатных литотипов, образующих неоднократно повторяющиеся седиментационные последовательности. Индивидуальные границы циклов использовались в качестве временных линий для стратиграфической корреляции, что дало возможность определить пространственное положение потенциальных коллекторов в каждом стратиграфическом интервале с учетом латеральной миграции осадконакопления.

#### Результаты. Региональное положение и концептуальная модель осадконакопления

Месторождение имени Р. Требса и А. Титова расположено в пределах Тимано-Печорского осадочного бассейна пассивной

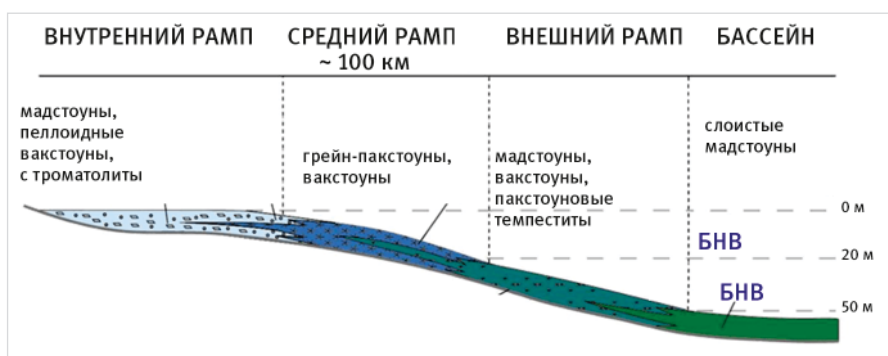


Рис. 1. Концептуальная модель [7] и характерные литотипы карбонатного рампа месторождений им. Р. Требса и им. А. Титова. БНВ — базис нормальных волн, БШВ — базис штормовых волн

Fig. 1. Conceptual model [7] and characteristic lithotypes of the carbonate ramp of the R. Trebs and A. Titov fields. FWNB – basis of normal waves, SWB – basis of storm waves

континентальной окраины, образовавшейся во время раннепалеозойской деструкции древнего платформенного основания и раскрытия Уральского палеоокеана [5].

Активизация регионального растяжения, приведшая к формированию бассейна, началась в ордовике в направлении запад — восток и инициировала механическое опускание фундамента с устойчивым восточным падением в течение всего палеозойского цикла осадконакопления. Это предопределило возникновение характерной батиметрической зональности и направленной к востоку смены ландшафтных обстановок осадконакопления от прибрежно-морских к глубоководным.

В течение ордовика — раннего девона на большей части бассейна существовал устойчивый режим осадконакопления с хорошо выраженными субмеридиональными участками шельфового мелководья, благоприятными для карбонатной седиментации. Отложения раннедевонского продуктивного комплекса в составе овинпармского горизонта накапливались покровами, преобладали водорослевые, сгустково-иловые и детритово-зернистые образования, их текстурно-структурная неоднородность подчинялась динамике среды осадконакопления и батиметрии бассейна. В конце раннего девона палеозойское осадконакопление было прервано тектоническим поднятием, регрессией морского бассейна и региональной эрозией мелководных отложений [6]. На площади месторождения это привело к частичному размыву в западной ее части нижедевонских и даже верхнесилурийских продуктивных карбонатных отложений и формированию поверхности несогласия под перекрывающей тиманско-саргаевской терригенной толщей.

Все разнообразие раннедевонских карбонатных литотипов хорошо укладывается в модель моноклинального рампа с пологим восточным погружением в сторону открытого бассейна и зональным развитием карбонатонакопления (рис. 1).

Внутренняя зона рампа сложена преимущественно глинистыми доломитовыми вакстоунами и мадстоунами, присутствуют остатки криноидей и алевритовая примесь, отмечаются прослои автохтонных строматолитовых и водорослевых доломитовых баундстоунов. Для последних характерно фенестральное строение, обусловленное наличием неправильной формы поровых систем, возникших при периодическом осушении и поверхностном преобразовании первичных водорослевых известняков. Комплекс отложений внутреннего рампа накапливался

в условиях умеренной и низкой энергии вод литорали с периодической субазральной экспозицией и ранней литификацией осадков.

Средний рампа отличается значительным разнообразием структурно-генетических типов пород, состоящих из множества сложных частиц биогенного и абиогенного происхождения. Крупнозернистые литофации представлены хорошо отсортированными доломитизированными ооидными и литокластическими грейн-пакстоунами с мелковолокнистыми и пологими косослоистыми текстурами, пеллоидными биокластическими вак-пакстоунами с прослоями вакстоунов и мадстоунов. Крупнозернистые литофации распознаются на диаграммах гамма-каротажа по характерным низким значениям гамма-активности. Осадконакопление происходило в открытых морских эвригалинных водах верхней сублиторали в условиях постоянной высокой гидродинамической энергии.

Дистальная зона рампа состоит из умеренно до плохо отсортированных разнообразных скелетных вакстоунов и преимущественно мадстоунов с хорошо развитой тонкой пологой и горизонтальной слоистостью и биотурбацией. Для этих литотипов с различной концентрацией глинистого вещества характерны наиболее высокие показатели гамма-активности из трех фациальных зон рампа. Тонкие пелитоморфные структуры отражают низкоэнергетические условия с уменьшенной циркулирующей и пониженными скоростями осадконакопления, типичными для открытой глубокой сублиторальной обстановки ниже основания штормовых волн. Вместе с тем присутствие в этой зоне биокластического материала свидетельствует о периодическом усилении гидродинамической активности водной среды и эпизодическом отложении прослоев темпеститов над основанием штормовых волн.

#### Цикличность и корреляция отложений

Типовой чертой разреза карбонатной толщи является ее хорошо выраженное циклическое строение с закономерными повторяющимися вертикальными наборами литотипов и их проградационными смещениями, предопределившими внутреннюю архитектуру карбонатного резервуара и закономерное распределение в нем коллекторов. Учитывая то, что циклиты являются более естественными и устойчивыми подразделениями седиментологической истории, чем традиционные литостратиграфические единицы, их можно использовать в рамках циклостратиграфического метода как самостоятельные

стратиграфические элементы разрезов для проведения регионального фациального анализа и надежных корреляционных построений. Каждая циклическая последовательность осадконакопления содержит характерные текстуры, типы зерен, осадочные структуры и диапазоны таксономического разнообразия, которые позволяют уверенно их выявлять в разновозрастных карбонатных отложениях.

Циклы имеют регрессивный характер с отчетливой восходящей укрупняющейся гранулометрией. Они начинаются с наиболее тонкозернистой литофаши мадстоунов, за которыми следуют вакстоуны и пакстоуны и завершаются литофациями либо биокластических грейнстоунов, либо их оолитовых аналогов. Мощности карбонатных циклов и их полнота закономерно меняются в широтном направлении. К западу, в сторону мелководной сублитерали и береговой линии, разрез утончается и становится неполным за счет сокращения аккомодационного пространства и постседиментационного размыва, но сохраняет регрессивную последовательность литотипов в каждой пачке, состоящей из переменного количества хорошо выраженных высокочастотных циклитов мощностью от 2–3 до 10–15 м. К востоку, в сторону глубокой сублитерали, отложения становятся более мощными с повышенной глинистостью, а высокочастотная седиментационная цикличность проявлена менее контрастно из-за мористого характера осадконакопления. Циклы выдержаны по латерали и хорошо распознаются в записях ГК, что позволило построить циклостратиграфический каркас продуктивных отложений высокого разрешения. В отличие от прежних построений, в которых осадконакопление и фаши рассматривались в рамках статической литостратиграфической модели как единый временной срез, новый последовательно-стратиграфический подход позволяет анализировать осадочные системы во времени и создавать динамические хроностратиграфические модели, обеспечивающие лучшую предсказуемость распределения потенциальных коллекторских

фаши с учетом вертикальной последовательности высокочастотных циклитов и их направленной латеральной миграции.

На профиле, ориентированном вкострест простирания карбонатного рампа, корреляционные линии демонстрируют слоисто-неоднородное строение раннедевонской толщи с проградацией и погружением карбонатных пачек к востоку (рис. 2а).

В этом же направлении увеличиваются стратиграфическая полнота разреза и суммарная мощность карбонатных пачек, а их фашиальные ряды закономерно смещаются и омолаживаются вдоль палеопадения карбонатной толщи, образуя последовательные вертикально наложенные фашиальные ассоциации, в которых все более мелководные отложения откладываются поверх относительно их более глубоководных латеральных аналогов (рис. 2б).

Фашиальная ассоциация типа А-В-С расположена в западной проксимальной части бассейна. В динамической модели она показывает прогрессивно мелеющий ряд от фаши мелководной сублитерали среднего рампа до фаши периодических заливаемой литерали внешнего рампа. В основании регрессивного фашиального ряда лежат биотурбированные микритовые и вакстоуновые литотипы (фаши С), перекрытые биокластическими пакстоунами, грейнстоунами (фаши В) и строматопоридными флоатстоунами (фаши А).

Фашиальная ассоциация типа В-С-Д демонстрирует признаки перехода от обстановки относительно глубокой верхней сублитерали к ее более мелководной и динамически подвижной верхней зоне. Чаще всего циклы начинаются с фоновых микритовых литотипов (фаши D) и сверху непосредственно переходят в вакстоуновую (фаши С), а затем биокластическую и оолитовую (фаши В) фашиальную ассоциацию.

Фашиальная ассоциация типа С-Д распространена в восточной наиболее удаленной зоне карбонатного рампа, характеризуется уменьшением биокластического материала, развитием вакстоуновых

литотипов относительно глубокой сублитерали и повышенным содержанием биотурбированных микритовых разностей пород с включениями маломощных темпеститовых прослоев открытого моря.

Характер распределения фаши и их мощности указывают на то, что осадконакопление было как аградационным, так и проградационным в бассейне с минимальной глубиной воды в пределах 2–15 м.

Каждая фашиальная ассоциация, включающая базальный трансгрессивный системный тракт (TST) и тракт высокого стояния (HST), отделена от предыдущей фоновыми микритовыми отложениями. В рамках идеального цикла осадконакопления последовательность событий начиналась с трансгрессивного затопления грейнстоунов/пакстоунов подстилающего циклита, возникновения нового аккомодационного пространства и отложения бассейновых мадстоунов поверх зернистых мелководных литотипов. Последующее высокое стояние уровня моря способствовало возвращению к работе карбонатной фабрики и увеличению биотического изобилия, о чем свидетельствуют ассоциации скелетных зерен, наблюдаемые в каждой фаши. К концу цикла по мере заполнения аккомодационного пространства и прогрессирующего обмеления фаши мадстоуны и пелоидные вакстоуны внутреннего рампа перемещались в сторону моря и перекрывали богатую грейнстоуновыми литотипами область среднего рампа, которые, в свою очередь, последовательно налегали на тонкослоистые мадстоуны и темпеститы внешнего рампа. Каждая генетическая последовательность ограничена поверхностями затопления, которые в схемах корреляции соответствуют хорошо выдержанным и уверенно распознаваемым изохронным маркерам.

Регрессивная цикличность сохраняется на протяжении всего стратиграфического разреза, поэтому в каждой карбонатной пачке могут присутствовать интервалы грейнстоуновых литотипов как потенциальных коллекторов, а в пределах карбонатного рампа они слагают серию отступающих и слабо

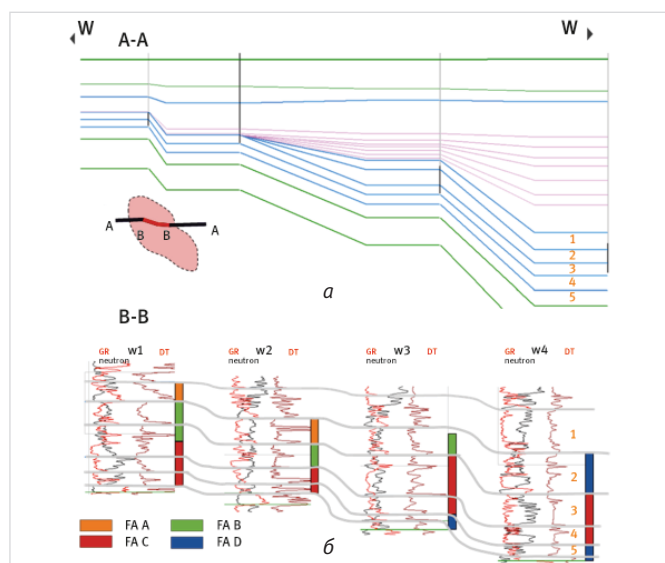


Рис. 2. Карбонатный рампа. Корреляционный профиль — а, характер распределения фашиальных ассоциаций — б. 1–5 — карбонатные пачки овинпармского горизонта. А, В, С, D, Е — фашиальные ассоциации (объяснения в тексте)  
Fig. 2. Carbonate ramp. Correlation profile — а, nature of the distribution of facies associations — б. 1–5 — ovinparm's sequences. А, В, С, D, Е — facies associations (explanations in the text)

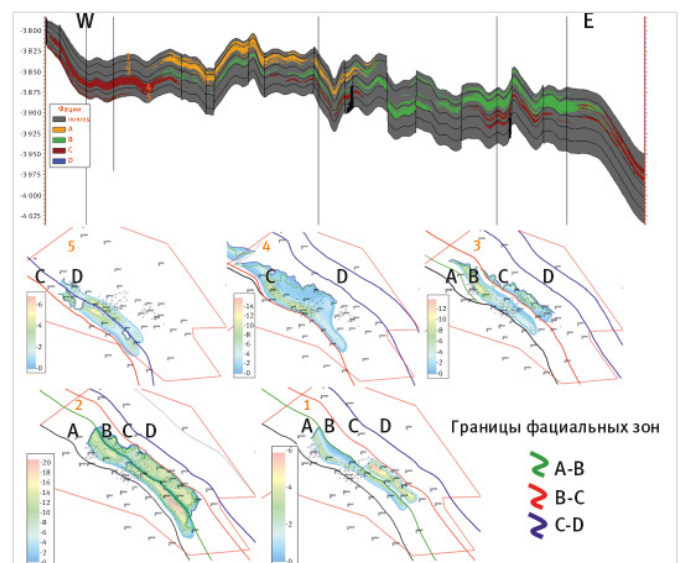


Рис. 3. Характер распределения параметра литологии по разрезу в широтном направлении и локализация эффективных нефтенасыщенных толщин в каждом регрессивном циклите. А, В, С, D — фашиальные зоны  
Fig. 3. The nature of the distribution of the lithology parameter along the section in the latitudinal direction and the localization of effective oil-saturated thicknesses in each regressive cyclite. А, В, С, D — facies zones

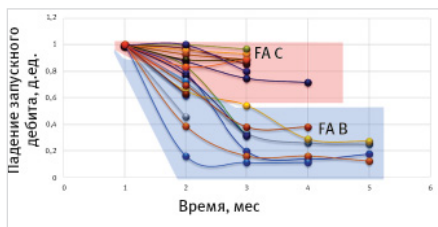


Рис. 4. Темпы падения горизонтальных добывающих скважин с исследуемыми интервалами на определении работающих интервалов Fig. 4. The rate of decline of horizontal production wells with studies to determine the working intervals

наклоненных к востоку карбонатных тел. Их распространенность сильно варьирует в зависимости от стратиграфического положения. Очевидно, что высокоэнергетическая карбонатная отмель в период проградации постепенно расширялась на восток по направлению падения среднего рампа, где устойчивый высокий уровень моря обеспечивал наличие благоприятного для осадконакопления аккомодационного пространства. В западных разрезах вверх по восстанию карбонатного рампа полнота фаціальных ассоциаций и их потенциал сохранности значительно снижались за счет конседиментационного выпадения и субаэрального размыва отдельных пачек, поэтому тела грейнстоунных отмерлей здесь систематически уменьшаются в численности и могут быстро выклиниваться на коротком расстоянии.

#### Влияние трещиноватости

Преыдущими исследованиями было установлено, что коллекторские свойства доломитов определяются не только межзерновой седиментогенно-диагенетической пористостью, но и наличием вторичной трещинно-каверновой пустотности [1, 2]. В отдельных интервалах разреза отмечалась анизотропия фильтрационно-емкостных свойств коллектора, а проницаемость по гидродинамическим исследованиям (ГДИ) превышала более чем в два раза проницаемость по керну, что объяснялось избирательной приуроченностью трещин к некоторым карбонатным литотипам. Однако новые данные свидетельствуют о более тесной связи трещиноватости не с литологией, а со структурными особенностями доломитов, прежде всего с размерами их минеральных индивидов.

Изученные нами доломиты содержат три типа трещин, имеющих разное влияние на флюидопоток в пластовых условиях. Во-первых, это разноориентированные системы микротрещин, заполненных синкинематическим доломитовым цементом, которые не вносят вклад в современную флюидодинамику. Такие микротрещины, залеченные продуктами химических реакций вмещающего доломита в ходе его уплотнения при захоронении, отнесены к ранней группе диагенетических трещин. Во-вторых, это открытые трещины, примерно такого же масштаба, согласующиеся по ориентировке с залеченными микротрещинами в тех же породах, что указывает на их принадлежность к единой совокупности и на возможную унаследованность от более ранней диагенетической трещиноватости. Эти трещины имеют фоновое распространение, связывают между собой каверны выщелачивания в карбонатной матрице и возникли за счет

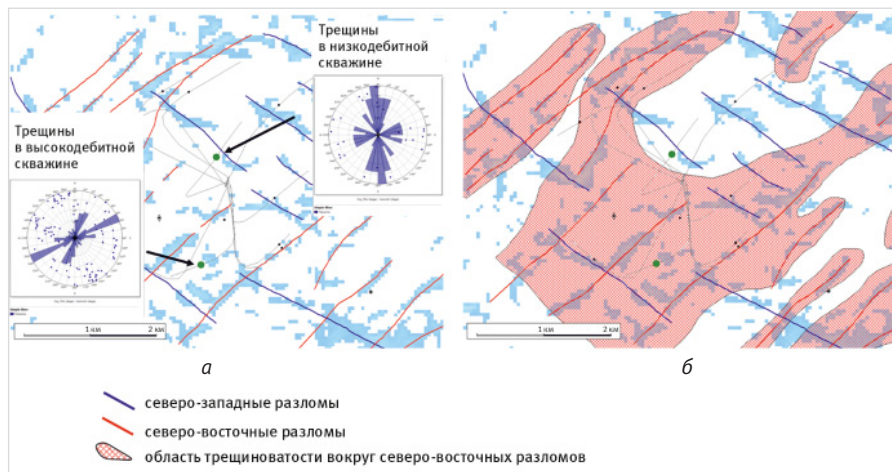


Рис. 5. Карбонатная пачка овинпармского горизонта. Карта когерентности — а, области развития трещиноватого коллектора — б Fig. 5. Ovinparm carbonate sequence. Map of coherence — a, area of development of a fractured reservoir — б

деформаций и хрупкого разрушения доломитов в постратификационный этап активизации. В-третьих, это открытые макротрещины, также связанные с деформационным этапом развития территории и пространственно тяготеющие к крупным разрывным нарушениям. Судя по закономерному увеличению их интенсивности вблизи разрывных нарушений, эти трещины принадлежат к локализованным зонам динамического влияния разломов. Некоторые разломы служат барьерами, разделяющими и смещающими нефтяные залежи.

Микроскопические наблюдения показывают, что открытая трещиноватость, образовавшаяся после доломитизации, охотнее развивается в доломитовых литотипах с мелкозернистой ангедральной структурой. Уменьшение размера зерен у таких литотипов приводит к снижению пористости и, по-видимому, к увеличению жесткости породы, что способствует ее хрупкому разрушению и образованию частой системы трещин. Многочисленные полевые наблюдения и статистические данные действительно указывают на то, что крупнокристаллические доломиты с преимущественно суб- и звгедральной структурой зерен имеют менее плотную трещиноватость, чем их мелкокристаллические аналоги [8, 9].

Подобный тренд прослеживается и в масштабе всей карбонатной толщи, циклическое строение которой обусловило закономерное распределение структурных разновидностей литотипов и связанных с ними породколлекторов. Как и ожидалось, тонкокристаллические доломиты с размерами кристаллов меньше 100 мкм и вторичным трещинно-каверновым типом коллектора локализованы преимущественно в погруженной и относительно низкоэнергетической зоне нижней сублиторали (зона С, рис. 3). Здесь расположены наиболее высокодебитные наклонно направленные скважины с притоками более 50 м<sup>3</sup>/сут при пористости коллектора от долей до 2–3% и проницаемости до 1 000 Мд. Отрицательные значения скин-фактора и высокая удельная продуктивность скважин указывают на хорошую гидродинамическую связь призабойной зоны с системой вторичных трещинно-каверновых пустот. Горизонтальные скважины, пробуренные в зоне С, характеризуются устойчивыми притоками по всей мощности коллектора с медленным темпом падения дебитов (рис. 4), подпитываемыми

низкопроницаемой карбонатной матрицей. Напротив, крупнокристаллические доломиты с размерами кристаллов более 100 мкм и первичной межкристаллической пористостью приурочены к высокоэнергетической фаціальній зоне верхней сублиторали (зона В, рис. 3), где установившиеся дебиты наклонно направленных скважин не превышают в основном 10 м<sup>3</sup>/сут, а пористость коллектора достигает 20% при проницаемости 20–30 Мд. В этих коллекторах основной вклад в приток из пласта в скважину связан с высокопористой карбонатной матрицей. Пробуренные в зоне В горизонтальные скважины характеризуются высоким темпом падения, который в первые месяцы достигает 80% от величины запусчного дебита (рис. 4).

Важно подчеркнуть, что не все вскрытые интервалы трещиноватого коллектора показали одинаково устойчивую и рентабельную работу добывающих скважин. Их удельная продуктивность можеткратно отличаться, особенно в горизонтальных скважинах, где коэффициент продуктивности меняется наиболее контрастно от 1 до 20 м<sup>3</sup>/сут/атм. В некоторых соседних скважинах, расположенных в пределах одного куста и пройденных по одному и тому же трещиноватому коллектору зоны С, отмечалось наличие сухих скважин рядом с высокодебитными, что объясняется неравномерностью развития трещин и различиями в их пространственной ориентировке по отношению к стволам добывающих скважин.

Как оказалось, не все макротрещины, связанные с разломами, являются открытыми в пластовых условиях. Разрывные нарушения северо-западного простирания, конформные с направлением современного региональногосжимающего напряжения, относятся к наиболее ранним разломам (рис. 5а). Они делают продуктивные отложения на отдельные блоки и по отношению к нефтяным залежам являются экранирующими. Зоны трещиноватости вокруг этих разломов, по данным скважинных сканеров, ориентированы в субмеридиональном направлении и, так же как и разломы, не участвуют в фильтрации.

Напротив, более молодые северо-восточные разломы и сопровождающие их трещины с тем же простиранием, несмотря на их неблагоприятное ортогональное положение по отношению к современному вектору горизонтального стресса, оказались

проницаемыми — и обеспечивают высокую продуктивность относительно средней величины по всему фонду работающих скважин. Совместный анализ геологических и промысловых данных позволил геометризовать предполагаемые зоны высокопродуктивного трещиноватого коллектора (рис. 5б) и рекомендовать их для проводки горизонтальных добывающих скважин.

### Итоги

Показано влияние фациальной обстановки, цикличности осадконакопления и постседиментационных тектонических преобразований на промысловые свойства коллекторов карбонатного рамп на месторождениях им. Р. Требса и им. А. Титова Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции.

### Выводы

- Продуктивные отложения формировались в пределах карбонатного рамп раннедевонской пассивной континентальной окраины и состоят из циклически построенных трансгрессивно-регрессивных фациальных последовательностей, разделенных конформными поверхностями максимального затопления.
- В каждом цикле осадконакопления карбонатный рамп развивался в режиме начального агрегационного заполнения и последующего проградационного продвижения. В агрегационной части циклов, сложенных преимущественно

тонкокристаллическими вак-пакстоуновыми доломитами, получили преимущественное развитие вторичные трещинно-каверновые типы коллекторов, тогда как перекрывающие их проградационные крупнокристаллические доломиты характеризуются в основном первично-диагенетическим коллектором с межкристаллической пустотностью.

- Микротрещины развиты преимущественно в тонкокристаллических разностях доломитов из-за их склонности к хрупкому разрушению при динамических нагрузках. Макротрещины, образующие гидродинамически связанные системы, локализованы в зонах динамического влияния северо-восточных разломов.
- Оценка качества сложных карбонатных коллекторов должна включать совместный анализ фаций, их цикличности и вторичных деформационных преобразований в связи с историей тектонического развития региона.

### Литература

1. Душин А.С., Рыкус М.В., Наумов Г.В., Гаймалетдинова Г.Ф. Условия осадконакопления, диагенетические процессы и их влияние на коллекторские свойства верхнесилурийско-нижнедевонских карбонатных пород месторождений им. Р. Требса и А. Титова // Нефтегазовое дело, 2015, № 5, С. 20–44.

2. Kaufman J., Jameson J. Sequence stratigraphy, facies, and reservoir quality of lower Devonian carbonates in Roman Trebsa field, Timan-Pechora basin. C.I.S. SEPM. Special publication, 2002, issue 74, P. 43–68. (In Eng).
3. Wilson J.L. Carbonate Facies in Geologic History. New York: Springer-Verlag, 1975, 471 p. (In Eng).
4. Tucker M.E., Wright V.P. Carbonate Sedimentology. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1990, 482 p. (In Eng).
5. Пучков В.Н. Батинальные комплексы пассивных окраин геосинклинальных областей. М.: Наука, 1979. 258 с.
6. Майдль Т.В. Особенности строения карбонатных резервуаров ордовикско-нижнедевонского нефтегазоносного комплекса // Труды Института геологии Коми филиала Академии наук СССР, 1987. Вып. 61. С. 17–28.
7. Burchette T.P., Wright V.P. Carbonate ramp depositional systems. Sedimentary Geology, 1992, issue 79, P. 3–57. (In Eng).
8. Flugel E. Microfacies of carbonate rocks. Analysis, interpretation and application. Berlin: Springer, 2010, 984 p. (In Ger).
9. Rustichelli A., Iannace A., Girundo M. Dolomitization impact on fracture density in pelagic carbonates: contrasting case studies from the Gargano Promontory and the southern Apennines (Italy). Italian Journal of Geosciences, Vol. 134, issue 3, 2015, P. 556–575. (In Eng).

## ENGLISH

### Results

The influence of the facies setting, the cyclicity of sedimentation and post-sedimentary tectonic transformations on the commercial properties of carbonate ramp reservoirs in the fields named after R. Trebs and A. Titov of the Timan-Pechora oil and gas province is shown.

### Conclusions

- Productive deposits were formed within the carbonate ramp of the Early Devonian passive continental margin and consist of cyclically built transgressive-regressive facies sequences separated by conformal surfaces of maximum flooding.
- In each cycle of sedimentation, the carbonate ramp developed in the regime of initial aggradational filling and subsequent progradational advancement. In the aggradation part of the cycles, composed

mainly of fine-grained wacke-packstone dolomites, secondary fissured-cavernous types of reservoirs have been predominantly developed, while the overlying progradational coarse-grained dolomites are characterized mainly by a primary diagenetic reservoir with intercrystalline voids.

- Microcracks are developed mainly in fine-crystalline varieties of dolomites, due to their tendency to brittle fracture under dynamic loads. Macrocracks that form hydrodynamically connected systems are localized in the zones of dynamic influence of northeastern faults.
- Assessment of the quality of complex carbonate reservoirs should include a joint analysis of facies, their cyclicity and secondary deformation transformations in connection with the history of the tectonic development of the region.

### References

1. Dushin A.S., Rykus M.V., Naumov G.V., Gaimaletdinova G.F. Depositional environments, diagenetic processes and their impact on reservoir properties of upper silurian-lower devonian carbonates in R. Trebs and A. Titov fields. Oil and gas business, 2015, issue 5, P. 20–44. (In Russ).
2. Kaufman J., Jameson J. Sequence stratigraphy, facies, and reservoir quality of lower Devonian carbonates in Roman Trebsa field, Timan-Pechora basin. C.I.S. SEPM. Special publication, 2002, issue 74, P. 43–68. (In Eng).
3. Wilson J.L. Carbonate Facies in Geologic History. New York: Springer-Verlag, 1975, 471 p. (In Eng).
4. Tucker M.E., Wright V.P. Carbonate Sedimentology. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1990, 482 p. (In Eng).
5. Puchkov V.N. Bathyal complexes of passive margins of geosynclinal regions. М.: Nauka, 1979, 258 p. (In Russ).
6. Maid T.V. Features of the structure of carbonate reservoirs of the Ordovician-Lower Devonian oil and gas complex. Proceedings of the Institute of Geology of the Komi Branch of the USSR academy of sciences, issue 61, 1987, P. 17–28. (In Russ).
7. Burchette T.P., Wright V.P. Carbonate ramp depositional systems. Sedimentary Geology, 1992, issue 79, P. 3–57. (In Eng).
8. Flugel E. Microfacies of carbonate rocks. Analysis, interpretation and application. Berlin: Springer, 2010, 984 p. (In Ger).
9. Rustichelli A., Iannace A., Girundo M. Dolomitization impact on fracture density in pelagic carbonates: contrasting case studies from the Gargano Promontory and the southern Apennines (Italy). Italian Journal of Geosciences, Vol. 134, issue 3, 2015, P. 556–575. (In Eng).

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ | INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Рыкус Михаил Васильевич**, к.г.-м.н., доцент, Уфимский государственный нефтяной технический университет; эксперт ООО «РН-БашНИПнефть», Уфа, Россия  
Для контактов: rykusmv@bnipi.rosneft.ru

**Rykus Mikhail Vasilevich**, candidate of geological and mineralogical sciences, assistant professor, Ufa state petroleum technological university; expert “RN-BashNIPneft” LLC, Ufa, Russia  
Corresponding author: rykusmv@bnipi.rosneft.ru

**Сулейманов Давид Дамирович**, эксперт, ООО «РН-БашНИПнефть», Уфа, Россия

**Suleymanov David Damirovich**, expert, “RN-BashNIPneft” LLC, Ufa, Russia