

УДК 550.8:553.98

DOI: 10.31660/0445-0108-2024-1-42-58

Обоснование подхода к поиску и разведке продуктивных объектов на примере анализа территорий Красноленинской и Ангаро-Ленской нефтегазоносных областей

С. Р. Бембель*, В. О. Рогожнева, Н. В. Уткин

Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

**bembel_gsr@mail.ru*

Аннотация. Актуальность исследования определяется значительной степенью выработки запасов месторождений углеводородов (УВ), характеризующихся наиболее простыми условиями разработки и необходимостью поиска подхода к изучению месторождений, в пределах которых установка закономерностей строения залежей вызывает трудности. Цель работы — обоснование подхода к поиску и разведке локальных продуктивных зон по результатам анализа территориально удаленных друг от друга объектов различного геологического строения: тюменской и чорской свит. Первичной информацией для исследования послужили данные бурения, результаты геофизических исследований скважин, описание кернового материала, данные петрофизических исследований, информация об испытаниях и динамике работы скважин, материалы интерпретации 2D сейсмических исследований, а также опубликованные статьи. За основу приняты методы анализа и сравнения с целью выделения особенностей распределения залежей УВ изучаемых районов. По результатам исследований выявлена необходимость проведения совместного изучения проблемы локализации залежей нефти и газа посредством сопоставления закономерностей размещения локальных продуктивных объектов на удаленных территориях, отличающихся по своему геологическому строению, сформированы предпосылки для разработки комплексной методики изучения строения залежей УВ тюменской и чорской свит с позиции подхода к разведке сложнопостроенных объектов, подразумевающего совместное изучение возможностей протекания процессов, описываемых по отдельности как органической, так и неорганической гипотезами нефтегазогенерации. Сформулирована необходимость внедрения подхода к геологическому моделированию, учитывающего фрактальное строение геологических систем.

Ключевые слова: геологическое строение, разломная тектоника, реконструкция палеогеографических обстановок, фрактальные свойства геологической среды, тюменская свита, чорская свита

Для цитирования: Бембель, С. Р. Обоснование подхода к поиску и разведке продуктивных объектов на примере анализа территорий Красноленинской и Ангаро-Ленской нефтегазоносных областей / С. Р. Бембель, В. О. Рогожнева, Н. В. Уткин. – DOI 10.31660/0445-0108-2024-1-42-58 // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2024. – № 1. – С. 42–58.

Justification of the approach to searching for and exploring productive objects: a case study of the Krasnoleninsk and Angaro-Lena oil and gas regions

Sergey R. Bembel*, Veronika O. Rogozhneva, Nikita V. Utkin

Abstract. The article provides a rationale for the approach to the search and exploration of local productive zones based on the analysis of geographically distant objects of different geological structures: the Tyumen and Chora formations. The need for a joint study of the problem of localizing oil and gas deposits has been identified by comparing the patterns of location of local productive objects in remote territories that differ in their geological structure. The relevance of the study is determined by the significant degree of depletion of reserves of hydrocarbon deposits, characterized by the simplest development conditions and the need to find an approach to the study of deposits, within which the establishment and description of the patterns of deposit structure cause difficulties. The primary information for the study was drilling data, geophysical well survey results, description of core material, petrophysical survey data, information on testing and well performance dynamics, 2D seismic interpretation materials, as well as published articles. Methods of analysis and comparison were adopted as a basis in order to highlight common features of the distribution of hydrocarbon deposits in the studied areas. In the course of the study, the prerequisites were formed for the development of a comprehensive methodology for studying the structure of hydrocarbon deposits of Tyumen and Chora formations from the perspective of an approach to the exploration of complex objects, implying a joint study of the possibilities of processes described separately by both organic and inorganic hypotheses of oil and gas generation. The need to introduce an approach to geological modeling that takes into account the fractal structure of geological systems is formulated.

Keywords: geological structure, fault tectonics, reconstruction of paleogeographical settings, fractal properties of the geological environment, Tyumen formation, Chora formation

For citation: Bembel, S. R., Rogozhneva, V. O., & Utkin, N. V. (2024). Justification of the approach to searching for and exploring productive objects: a case study of the Krasnoleninsk and Angaro-Lena oil and gas regions. *Oil and Gas Studies*, (1), pp. 42-58. (In Russian). DOI: 10.31660/0445-0108-2024-1-42-58

Введение

Вовлечение в разработку трудноизвлекаемых запасов, к которым причисляют запасы нефти тюменской свиты Красноленинского свода Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции (НГП), а также запасы газа и конденсата чорской свиты Ангаро-Ленской ступени Лено-Тунгусской НГП, характеризующихся сложным геологическим строением, требует выработки такого подхода к поиску и разведке сложнопостроенных отложений, посредством применения которого возможно раскрыть закономерности формирования залежей углеводородов (УВ) в пределах изучаемых территорий.

Актуальность данного исследования определяет значительная степень выработки запасов месторождений УВ, характеризующихся наиболее простыми условиями разработки и необходимостью поиска подхода к изучению месторождений, в пределах которых установление и описание закономерностей строения залежей вызывают определенные трудности. Так, современное состояние сейсмической изученности чорской свиты Ангаро-Ленской ступени, содержащей уникальные запасы газа и конденсата, является весьма неудовлетворительным. Это связано с большой сложностью

строения вышележащей соленосной толщи осадочного чехла, ухудшающей качество первичного сейсмического материала, и методикой обработки сейсмических данных [1]. Изменчивость и пониженные фильтрационные свойства отложений тюменской свиты обуславливают сложности разработки нефтеносных пластов, извлекаемые запасы которых на Краснеленинском своде составляют несколько сотен миллионов тонн [2].

Разработка месторождений углеводородного сырья в мире в настоящее время сопровождается построением и систематичной актуализацией разнообразных моделей, процесс работы с которыми осложняют высокая неоднородность осваиваемых продуктивных объектов, неспособность локализации и вовлечения в разработку значительной части запасов. Это является важнейшим признаком необходимости перехода к более тщательному и обоснованному подходу к формированию представлений о геологической среде [3].

В ходе проведения исследований, связанных с поиском закономерностей распространения углеводородных залежей в пределах отдельных нефтегазоносных районов, нами была выявлена необходимость проведения совместного изучения проблемы локализации залежей нефти и газа посредством сопоставления закономерностей размещения локальных продуктивных объектов на удаленных территориях, отличающихся по своему геологическому строению. За основу данного исследования приняты методы анализа и сравнения с целью выделения единых особенностей распределения залежей УВ изучаемых районов. Применение описанных в статье методов позволит подтвердить наличие закономерностей размещения нефти и газа, установленных в результате изучения отдельных территорий, а также избежать использования ложных корреляций при их наличии.

Особое внимание уделено изучению вероятности участия как эндогенных, так и экзогенных факторов на происхождение нефти. В последнее время наметилась тенденция к сближению двух противоречивых сторон биогенной и абиогенной гипотез, позволяя совместить их лучшие стороны. Так, биогенная гипотеза объясняет роль механизма преобразования органического вещества в нефть и газ на нисходящей ветви геохимического круговорота, а абиогенная гипотеза — на восходящей. Совокупность этих концепций можно рассматривать как взаимодополняющую систему представлений, отражающих два основных механизма формирования УВ в процессе глобального геохимического круговорота [3].

В результате исследования нами был сделан вывод о том, что принципиальный отказ от рассмотрения возможностей применения положений одной из гипотез нефтегазогенерации при разведке сложнопостроенных месторождений УВ способен привести к трудностям с увязкой разнородных данных и поиском закономерностей геологического строения при изучении перспектив разработки нефтегазоносных территорий. Сформированы предпосылки для разработки комплексной методики изучения строения залежей УВ тюменской свиты Краснеленинского свода Западно-

Сибирской НГП и чорской свиты Ангаро-Ленской ступени Лено-Тунгусской НГП.

Стратегию поиска и разведки нефти и газа необходимо формировать с позиции всестороннего подхода к вопросу о процессах нефтегазогенерации. Современный подход к разведке сложнопостроенных объектов, какими являются пласты тюменской и чорской свит, должен включать совместное изучение и научное обоснование возможностей протекания процессов, описываемых по отдельности как органической, так и неорганической гипотезами нефтегазогенерации.

Объект и методика исследований

Объектом исследования являются отложения тюменской свиты средней юры и чорской свиты позднего венда, закономерности их геологического строения и характеристики, определяющие нефтегазоносные свойства описываемых пород.

В административном отношении районом проведенных исследований тюменской свиты является западная область ХМАО — Югры, в геологическом отношении принадлежащая восточной части крупной положительной структурной формы — Красноленинского свода. Это структурная форма I порядка, приуроченная к Красноленинскому нефтегазоносному району одноименной нефтегазоносной области Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции.

На территории исследований среднеюрские отложения представлены породами тюменской свиты, состоящей из нижней (пласты ЮК8-ЮК7), средней (пласты ЮК6-ЮК5) и верхней (пласты ЮК4-ЮК2) подсвит. Толщины и распределение песчаных слоев в этих отложениях значительно варьируются, кроме того, проницаемые пропластки имеют низкие коллекторские свойства. Породами-покрышками для тюменской свиты являются глинистые отложения, залегающие в средней и нижней частях абалакской свиты.

На описываемой территории анализ результатов данных грави- и магниторазведки выявил наличие глубоких дизъюнктивных нарушений, часто встречающихся на территории исследований. Эти разломы разъединяют крупные блоки земной коры, прослеживаются в породах фундамента и существенно усложняют строение осадочного чехла.

Нефтеносные пласты верхней и средней подсвит тюменской свиты (ЮК2-3 и ЮК4-5) обладают значительными геологическими запасами нефти, однако продуктивность скважин на исследуемой территории сильно изменчива и в целом невысокая. Мощность отложений тюменской свиты на исследуемой территории различная: на отдельных участках ее осадочные отложения полностью отсутствуют, а на других достигают 350 метров. Залегание наиболее мощных отложений тюменской свиты связано с зоной погружения фундамента.

Анализ отложений тюменской свиты основан на результатах бурения, в том числе разведочных и добывающих скважин, а также данных 2D и 3D сейсмических исследований. При детальном анализе состава и свойств горных пород использованы исследования керна, опубликованные статьи и материалы выполненных оценок и подсчетов запасов УВС.

Следует отметить важную роль сейсмических данных, позволяющих проследить отражающие горизонты, приуроченные к кровле продуктивных пластов, построить структурные карты их кровли, выполнить палеоструктурный анализ территории исследований, а также атрибутный анализ волнового поля с целью поиска закономерностей распределения наиболее продуктивных участков пластов ЮК2-3, ЮК4 и ЮК5.

Нефтяные залежи тюменской свиты, приуроченные к пластам ЮК2-5 исследуемой площади, отличаются высокой изменчивостью как в горизонтальном, так и в вертикальном направлениях, и низкими коллекторскими свойствами. Вследствие наличия этих особенностей запасы УВ тюменской свиты определены как трудноизвлекаемые. Пониженные коллекторские свойства и сложная структура ловушек определяют ряд трудностей при добыче запасов УВ. Разработка эффективной стратегии добычи требует построения и, в последующем, актуализации надежных геологических моделей, основанных на тщательном изучении и комплексном анализе особенностей геологического строения тюменской свиты. Подобный многосторонний анализ пород с использованием разнородных доступных источников данных необходим для установления закономерностей уникальных характеристик отложений тюменской свиты.

Чорская свита в ходе исследования в административном отношении рассматривалась в пределах Казачинско-Ленского и Жигаловского районов Иркутской области. Геологически чорская свита относится к пологому моноклиналильному склону Ангаро-Ленской ступени (юг Сибирской платформы). Продуктивными объектами чорской свиты являются пласты П1 и П2, которые, в свою очередь, относятся к парфеновскому горизонту — пачке песчаников в основании верхнечорской подсвиты. Общая толщина парфеновского горизонта на рассматриваемом участке варьируется в пределах 33,0–84,1 м.

Разработка вендских пород чорской свиты имеет важное значение как на региональном, так и на государственном уровне, что подчеркивается высоким общественным интересом к международному проекту магистрального газопровода «Сила Сибири». Породы парфеновского горизонта являются основным газоносным объектом отложений чорской свиты. Для этих пород характерно неравномерное переслаивание низкопроницаемых песчаников, алевролитов и аргиллитов. Ввиду высокой сложности геологического строения и сильной изменчивости чорской свиты подход к добыче запасов газа и газоконденсата должен иметь комплексный, синергетический подход.

Первичная информация, использованная для анализа отложений чорской свиты в данной работе, включает данные бурения и результаты геофизических исследований скважин (ГИС), описание кернового матери-

ала и данные петрофизических исследований, данные по испытаниям и динамике работы скважин, материалы интерпретации 2D сейсмических исследований, опубликованные статьи.

Экспериментальная часть

Обработка и интерпретация данных сейсморазведки, в частности данных 3D-сейсморазведки, дают важнейшую опорную геолого-геофизическую информацию о строении объектов отложений тюменской свиты. На приведенном временном разрезе отчетливо выделяются разломы, затрагивающие весь геологический разрез, прослежен ряд локальных поднятий, приуроченных к выделенным разрывным нарушениям (рис. 1).

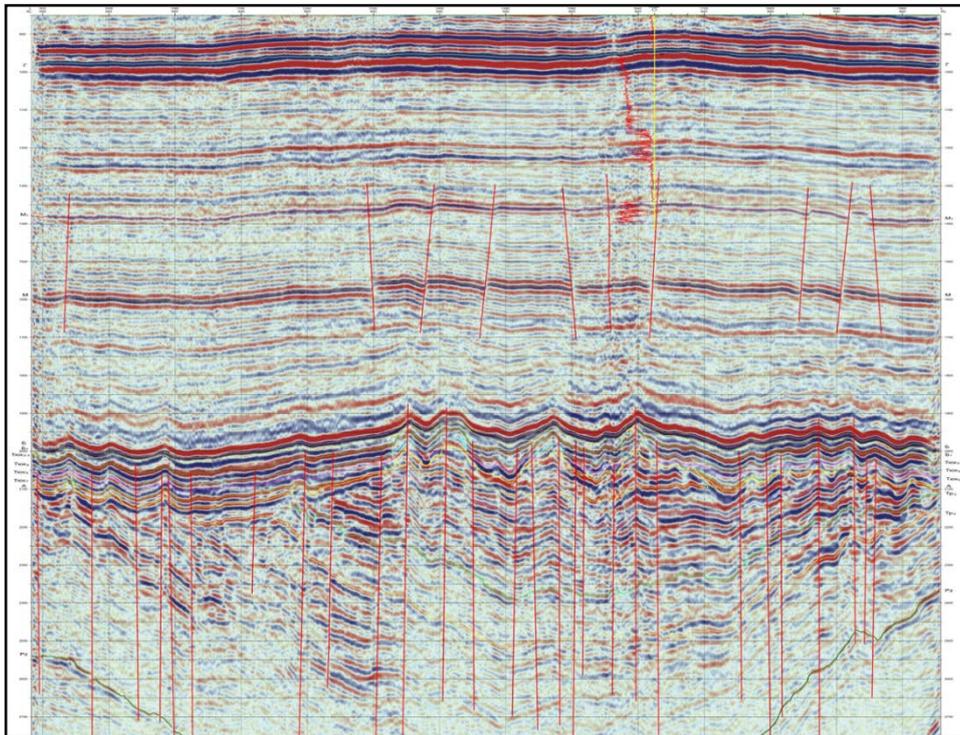


Рис. 1. Фрагмент временного разреза с проявлением дизъюнктивных нарушений и глубинной геодинамики исследуемой территории Красноленинского свода Западной Сибири

В основу формирования информационной базы положено представление о том, что ведущую роль при формировании структурного облика и его морфологии, а также вероятных скоплений в нем залежей нефти и газа играет тектоническая история развития территории исследований, наиболее ярко проявляющаяся на временных разрезах в виде зон разрывных нарушений и локальных поднятий. На рассматриваемой территории можно выделить отдельные положительные структуры, связанные с разрывными

нарушениями. Более того, дизъюнктивы могут выступать в качестве путей миграции УВ, что подчеркивает необходимость тщательного изучения особенностей проявления разломной тектоники [3].

Достоверный геологический анализ территории основан на сопоставлении результатов ГИС и опробования с данными керна. Для создания комплексной и точной структурной основы для дальнейшего анализа сейсмических и промысловых геофизических данных была проведена корреляция с использованием материалов ГИС и ссылок на керновые данные разведочных и добывающих скважин.

Отложения продуктивных пластов ЮК2-5 имеют разнообразный литологический состав и состоят из глинистых и песчано-алевритовых пород с редкими прослоями угля. Эти отложения первоначально формировались в континентальной обстановке, постепенно переходящей в прибрежную равнину, погружающуюся в море. Более молодые пласты ЮК2-3 состоят преимущественно из выдержанных песчано-алевритовых тел, сформировавшихся на прибрежно-морской равнине, где отлагались приносимые реками осадки. Породы-коллекторы распространены очагами. При этом доля прибрежно-морских отложений относительно невелика из-за эрозии, вызванной морской трансгрессией. Наиболее мощные отложения пластов ЮК2-3 залегают в дельтовых телах. Более древние, нижележащие отложения пластов ЮК4-5 формировались в континентальных условиях в пределах аллювиальных систем. Эти слои достигают максимальной мощности в прогибах между приподнятыми структурными элементами и имеют вытянутую, извилистую форму, типичную для аллювиальных систем. В пласте ЮК4 основные породы-коллекторы приурочены к телам русел и распределительных каналов. В пласте ЮК5 распространение пород-коллекторов ограничено залеганием тел руслового генезиса сложной структуры [4, 5].

С целью уточнения геологической модели были привлечены установленные закономерности распределения субобстановок в горизонтах ЮК2-3, ЮК4, ЮК5 и ЮК6, полученные на основе анализа керна К. А. Костеневич и др. [6]. Интерпретация геофизических исследований скважин, вскрывших наиболее мощные породы-коллекторы с наименьшей степенью расчлененности, была использована для обоснования прогноза распределения коллекторских свойств в пласте ЮК2-3. Анализ имеющихся данных бурения, керна и сейсморазведки позволил выявить область с руслами дельт и конусами субдельт и принять ее в качестве тренда литотипического распределения мелко-среднезернистых и разнофракционных песчаников. Тренд был выделен в том числе на основе карт изохор между отражающими горизонтами ТЮК4 и ТЮК2-3. Вытянутая форма изопахит указывает на области развития русловых и дельтовых каналов. Исходя из проведенной корреляции разнородных геолого-геофизических данных, была установлена ширина русловых каналов, составляющая от 2 до 4 км; общая длина русловых каналов на исследуемой территории составляет до 50 км. Прогнозная эффективная мощность проницаемых пропластков пласта ЮК2-3,

подтвержденная фактическими скважинными данными, составила от 4 до 10–12 м. Размеры русел пласта ЮК4, имеющих сложную морфологию, определяются аналогично и варьируются от 0,5 до 2,5 км. Прогнозные мощности песчаников пласта ЮК4 по данным скважин на участках с улучшенными коллекторскими свойствами составляют от 4 до 12–14 м. Наиболее продуктивный участок пласта ЮК5, как и пласта ЮК4, связан с русловыми каналами. Наиболее продуктивные части расположены вблизи сводовых частей поднятий на склоновых частях положительных структурных форм. Потенциал наиболее погруженных участков пласта не определен вследствие отсутствия скважин, вскрывающих их.

Схема, иллюстрирующая прогноз диапазона мощностей коллекторов пласта ЮК4 и их распространение, представлена на рисунке 2.

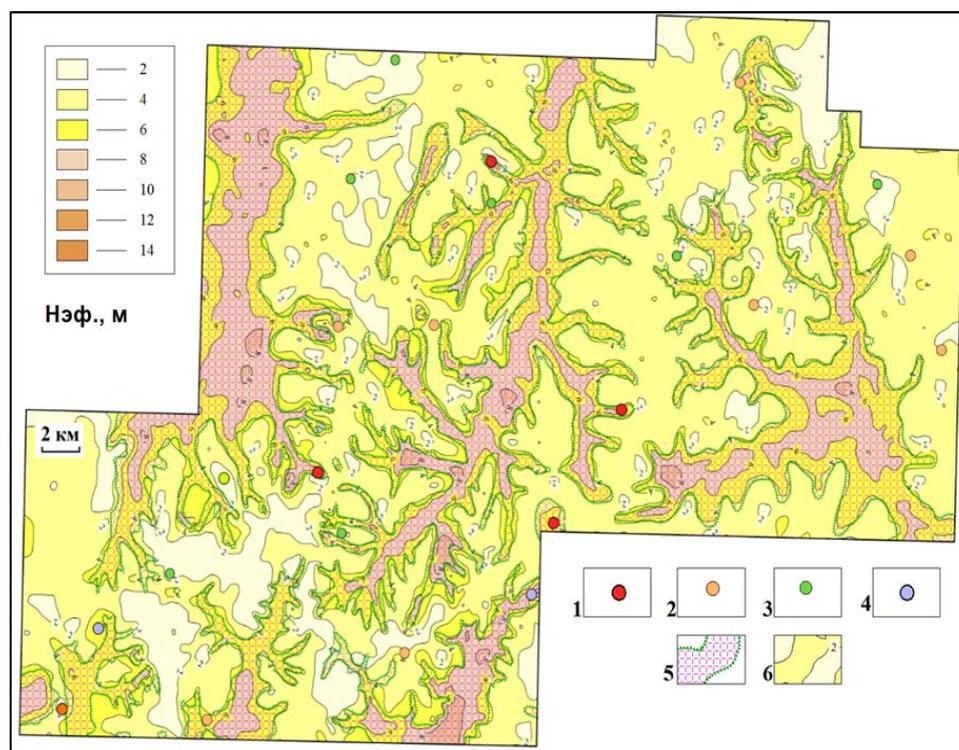


Рис. 2. Прогноз диапазона мощностей коллекторов пласта ЮК4 и их распространение: 1 — местоположение скважин, с наличием в разрезе пачки русловых песчаников; 2 — местоположение скважин, с наличием в разрезе переслаивания русловых и пойменных отложений; 3 — местоположение скважин, с преобладанием в разрезе пойменных отложений; 4 — местоположение скважин, с наличием в разрезе пачки русловых песчаников; 5 — прогнозные границы развития русловых долин; 6 — изопахиты эффективной толщины пласта ЮК4, м

В ходе анализа сейсмической информации по ковыктинскому и хандинскому участкам выявлены несколько зон деструкции

осадочного чехла, которые уверенно прослеживаются как на карте когерентности, так и на временном разрезе (рис. 3, 4). Примечательно, что стартовые дебиты газа выше на тех кустовых площадках, которые расположены относительно близко к зонам деструкции, картируемым по карте когерентности парфеновского горизонта.

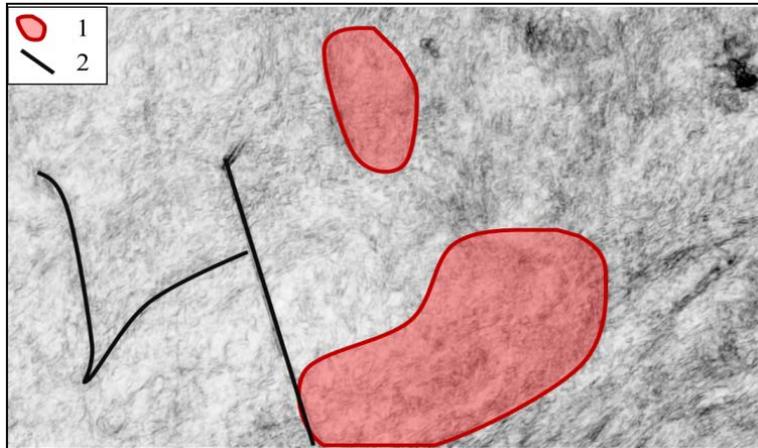


Рис. 3. Карта когерентности парфеновского горизонта с нанесенными зонами деструкции: 1 — зоны деструкции; 2 — выявленные дизъюнктивные нарушения

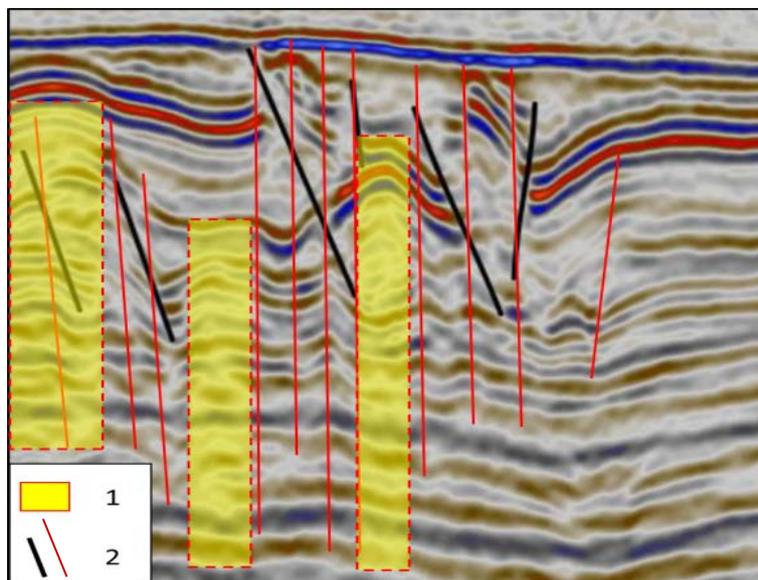


Рис. 4. Проявление дизъюнктивных нарушений и глубинной геодинамики исследуемой территории Ангаро-Ленской ступени Восточной Сибири: 1 — зоны деструкции; 2 — выявленные дизъюнктивные нарушения

При этом распределение значений карт эффективных толщин и фильтрационно-емкостных свойств газоносного объекта не учитывает данную информацию, что может привести к значительным по величине погрешностям в результате построения 3D геологических моделей.

По имеющейся у авторов сейсмической информации однозначно дать оценку положению палеодельты на момент формирования пород парфеновского горизонта не представляется возможным. Однако с высокой долей вероятности можно утверждать, что палеодельта была ориентирована в юго-западном направлении [7].

Примечательно, что для большинства залежей углеводородов Восточной Сибири, а в частности и залежей в породах-коллекторах чорской свиты, источник нефтегазогенерации не установлен. Данная проблема привлекает широкое внимание и отсылает авторов к рассмотрению альтернативных концепций генерации и миграции УВ с целью уточнения понимания концепции сложнопостроенных залежей.

Результаты и обсуждение

В ходе проведения данного исследования мы пришли к выводам о необходимости применения комплексного анализа при решении проблем и перспектив развития технологий обработки информации при геологическом моделировании. Исходя из совместного анализа двух существенно отличающихся в геологическом плане территорий, находящихся друг от друга на значительном расстоянии и приуроченных к разновозрастным структурным формам, нами была выделена общая проблема, связанная со сложностью и трудозатратностью корреляции большого объема разнородной геолого-геофизической информации. Поиск закономерностей геологического строения таких отложений, как тюменская и чорская свиты, и их последующее компьютерное моделирование являются весьма сложными процессами вследствие недостаточного развития цифровых технологий обработки производственной информации, заключающегося в аппаратной невозможности расчета полномасштабных геолого-гидродинамических моделей с размером ячеек, который позволил бы отразить реальное представление о геологическом строении рассматриваемого объекта и процессах, протекающих в нем.

Авторы подчеркивают необходимость формировать стратегию поиска и разведки новых залежей УВ, а также методику доизучения разрабатываемых объектов с позиции всестороннего подхода к вопросу нефтегазогенерации. В данной работе также рассмотрены процессы миграции и накопления УВ в связи с уже сформированными и формирующимися зонами вертикальной деструкции толщ земной коры.

Для пород парфеновского горизонта такой подход актуален на фоне богатой тектонической истории региона (нами подчеркнута выявленное разнообразие тектонических аномалий и нарушений) и тем, что территория исследования на текущий момент остается сейсмически активной.

Для пород тюменской свиты актуальным является подробное изучение зон дезинтеграции горных пород и детальное исследование разломной тектоники с позиции рассмотрения глубинных разломов как возможных зон миграции восходящих флюидов. Более того, отмечается приуроченность разломов к локальным сводовым поднятиям, которые могут образовывать ловушки УВ. Все это подчеркивает высокую значимость рассмотрения истории формирования изучаемых залежей УВ и выбора стратегии доизучения территории с последующей разработкой с привлечением концепций дегазации Земли и глубинной нефти, включая элементы геосолитонной концепции.

Необходимость обособления состояния развития цифровых технологий обработки геолого-геофизических данных как проблемного поля в науке определяется актуальным положением потребности в ручной корреляции огромного количества этих данных. Одним из примеров трудозатратности поиска закономерностей строения отложений нефтегазоносных пластов является процесс прослеживания и картирования хода морской трансгрессии и изменяющихся в ее процессе форм прибрежных русловых и дельтовых каналов. На рисунке 5 приведен пример использования данных 3D-сейсморазведки для неавтоматизированного прослеживания и очерчивания конфигурации тел палеорусел в интервале пластов группы ЮК тюменской свиты (рис. 5).

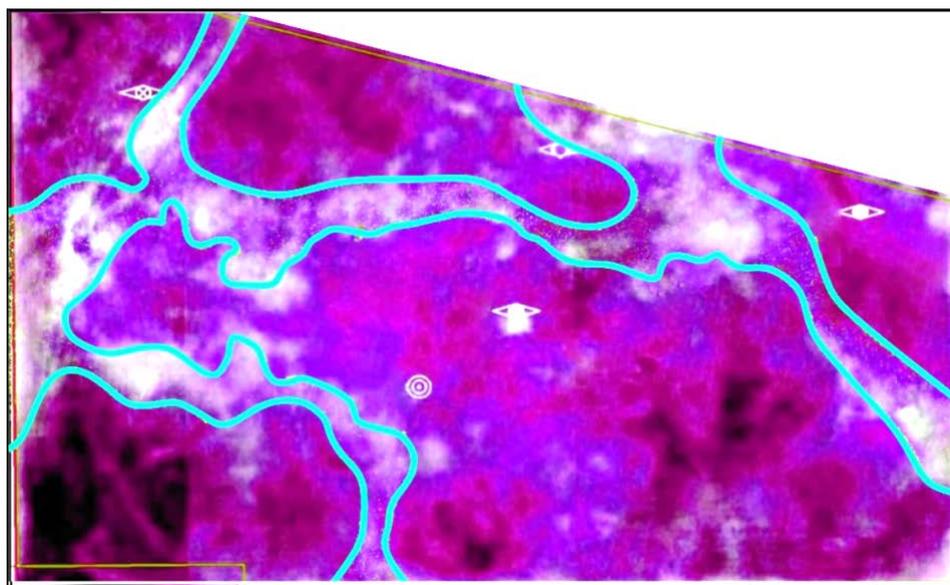


Рис. 5. Пример использования данных 3D-сейсморазведки для выделения и очерчивания тел палеорусел тюменской свиты

Такая процедура моделирования проводится посредством детального сопоставления и комплексирования данных сейсморазведки с точечными

данными изучения кернового материала и результатов геофизических исследований скважин [8].

Аналогичная проблема наблюдается и в ходе исследования отложений чорской свиты при моделировании хода трансгрессии моря и определении направления сноса осадочного материала. Сложность моделирования парфеновского горизонта — объекта, относящегося к отложениям чорской свиты, продиктована особенностями формирования пород: как аллювиально-дельтовый комплекс с влиянием приливно-отливных процессов (рис. 6).

Как следует из анализа наиболее часто применяемых на геологическом производстве пакетов программных обеспечений, на сегодняшний день они не обладают принципиальной возможностью снижения трудоемкости процесса реконструкции палеогеографических обстановок, без которого невозможно определение закономерностей геологического строения территории.

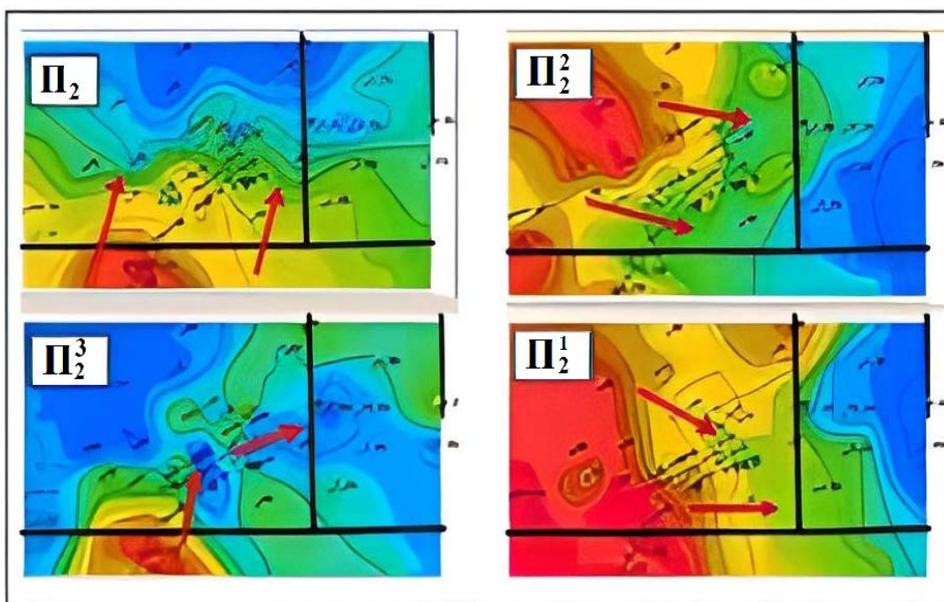


Рис. 6. Пример прослеживания направлений сноса обломочного материала на картах общих толщин парфеновского горизонта

Исходя из оценки состояния внедрения цифровых технологий обработки информации в процесс геологического моделирования, представляется возможным наметить перспективы их дальнейшего развития. Актуальным направлением является поиск способов обработки информации, используемой для палеофациального моделирования, посредством применения технологий самообучающихся сетей на основе картографической информации развития современных речных систем с ее разграничением и привязкой к различным седиментологическим условиям.

Спешный ввод в разработку сложных и, следовательно, недостаточно разведанных отложений выступает существенным фактором, обуславливающим низкую рентабельность добычи УВ. Многолетний опыт нефтегазовой отрасли России и мира свидетельствует о том, что истинная морфология отложений и структура пластовых флюидов в пределах различных регионов всегда намного более сложная и отличается от представлений, первоначально принятых при проектировании разработки нефтегазоносных объектов [8].

Ключевой предпосылкой необходимости перехода на следующий, зачастую более совершенный уровень организации и подхода к структурированию окружающей среды, является значительная изменчивость свойств изучаемых геологических объектов (вмещающих пород, пластовых флюидов и т. д.), не позволяющая дальнейшее использование традиционных и относительно простых подходов к геологическому моделированию в целях достижения удовлетворительных фактических результатов, в должной степени коррелирующих с расчетными величинами [8].

На сегодняшний день в силу применения на геологическом производстве ряда пакетов программных обеспечений, базирующихся на подобных друг другу принципах, в геологическом моделировании повсеместно преобладает представление подземной среды в виде ячеистого каркаса, внутри которого планомерно происходят построения на всех этапах моделирования. В подавляющем большинстве расчетные сетки, наиболее часто используемые в гидродинамическом и геологическом моделировании, представляют собой блоки, состоящие из ряда прилегающих друг к другу шестигранников. Модели такой геометрии почти полностью исключают возможность работы со свойством самоподобия, присущим многим природным объектам.

В результате проведенного анализа моделирования пород-коллекторов трудноизвлекаемых запасов нефтей, приуроченных к геологическим телам сложной конфигурации, предлагается рассмотрение возможности внедрения подхода к геологическому и гидродинамическому моделированию, использующего теорию фракталов, а также рассмотрения возможности разработки соответствующих каркасов цифровых геологических моделей. Под фракталом подразумевается геологический объект, обладающий свойством самоподобия [8]. Изучение подобного подхода к организации строения различных геологических систем освещается в трудах отечественных и зарубежных ученых [8–10]. В рассмотренных отложениях тюменской и чорской свит ярким проявлением фрактальности геологической среды являются реконструированные системы палеорусловых каналов, водотоки которых образовали иерархию аллювиальной системы с каналами уменьшающейся ширины и протяженности. Фрактальные свойства также находят свое проявление в других характеристиках и процессах, связанных с геологическими явлениями, среди которых и механические свойства отложений, и особенности процессов фильтрации пластовых флюидов [8], в том числе высоковязких нефтей.

Таким образом, внедрение фрактального моделирования геологических сред, а также последующих математических расчетов, учитывающих иерархические свойства природных тел и материалов, может найти применение при разрешении наиболее актуальных проблем геологии, среди которых остро требуют выработки новых подходов проблемы картирования пород-коллекторов трудноизвлекаемых запасов нефтей, приуроченных к геологическим телам сложной конфигурации, а также проблемы последующего гидродинамического моделирования процесса вытеснения трудноизвлекаемых флюидов, в том числе высоковязких нефтей, газового конденсата и расчета динамики других пластовых флюидов. Кроме того, необходима опора на конкретные тектоно-седиментационные условия формирования всей территории. Подобные исследования в последние годы показали свою эффективность при поиске наиболее перспективных локальных зон [11].

Выводы

Несмотря на существенное различие геологического строения представленных регионов, можно уверенно сформулировать общие принципы и тенденции для разработки комплексной методики изучения строения залежей углеводородов тюменской свиты Красноленинского свода Западно-Сибирской НГП и чорской свиты Ангаро-Ленской ступени Лено-Тунгусской НГП.

1. Стратегию поиска и разведки нефти и газа необходимо формировать с позиции всестороннего подхода к вопросу о процессах нефтегазогенерации. Современный подход к разведке сложнопостроенных объектов, какими являются пласты тюменской и чорской свит, должен включать совместное изучение и научное обоснование возможностей протекания процессов, описываемых по отдельности как органической, так и неорганической гипотезами нефтегазогенерации.

2. Актуальным направлением развития палеофациального моделирования аллювиальных систем является поиск способов обработки геолого-геофизической информации с применением технологий самообучающихся сетей на основе картографической информации развития современных речных систем с ее разграничением и привязкой к различным седиментологическим условиям.

3. Сформулирована необходимость внедрения подхода к геологическому и гидродинамическому моделированию, учитывающего фрактальное строение геологических систем; рассмотрена возможность разработки соответствующих каркасов цифровых геологических моделей.

4. На обсуждение вынесена актуальность положений концепции глубинного образования УВ для рассмотренных объектов, что проиллюстрировано достаточно обширным наличием субвертикальных зон

и каналов деструкции горных пород, выделяемых в строении объектов по данным сейсмических методов.

Список источников

1. Геология и нефтегазоносность Лено-Тунгусской провинции : сборник статей / Под редакцией Н. В. Мельникова. – Москва : Недра, 1977. – 205 с. – Текст : непосредственный.
2. Геологическая модель и обоснование оптимального размещения скважин на объектах тюменской свиты западной части Ханты-Мансийского автономного округа — Югры / С. Р. Бембель, Р. В. Авершин, Р. М. Бембель, В. И. Кислухин. – DOI 10.31660/0445-0108-2020-6-8-24. – Текст : непосредственный // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2020. – № 6. – С. 8–24.
3. Бембель, С. Р. Уточнение геологического строения отложений тюменской свиты по результатам тектоно-седиментационного анализа восточной части Красноренского свода Западной Сибири / С. Р. Бембель, Р. М. Бембель, В. О. Рогожнева. – DOI 10.31660/0445-0108-2022-6-9-25. – Текст : непосредственный // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2022. – № 6. – С. 9–25.
4. Геологические особенности и оценка добычного потенциала отложений тюменской свиты / А. А. Севастьянов, К. В. Коровин, О. П. Зотова, Д. И. Зубарев. – DOI 10.17072/psu.geol.16.1.1.61. – Текст : непосредственный // Вестник Пермского университета. Геология. – 2017. – Т. 16, № 1. – С. 61–67.
5. Бембель, С. Р. Геологические модели залежей нефти тюменской свиты в западной части ХМАО — Югры / С. Р. Бембель. – Текст : непосредственный // Трудноизвлекаемые запасы нефти и газа. Проблемы, исследования и инновации : материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Уфа : Уфимский государственный нефтяной технический университет, 2019. – С. 24–25.
6. Костеневич, К. А. Влияние условий формирования и постседиментационных процессов преобразования отложений на структуру пустотного пространства и фильтрационно-емкостные свойства пород-коллекторов продуктивного горизонта тюменской свиты Красноренского свода / К. А. Костеневич, О. И. Белоус, С. А. Слюнкина. – Текст : непосредственный // Современные проблемы седиментологии в нефтегазовом инжиниринге : труды III Всероссийского научно-практического седиментологического совещания, Томск, 10–12 апреля 2017 г. – Томск : Изд-во ЦППС НД, 2017. – С. 84–90.
7. Конторович, А. Э. Геология нефти и газа Сибирской платформы / А. Э. Конторович, В. С. Сурков, Ф. К. Салманов. – Москва : Недра, 1975. – 680 с. – Текст : непосредственный.
8. Бембель, С. Р. Геология и картирование особенностей строения месторождений нефти и газа Западной Сибири : монография / С. Р. Бембель. – Тюмень : ТюмГНГУ, 2016. – 226 с. – Текст : непосредственный.
9. Алексеевский, Н. И. Фрактальные свойства речных систем и их использование в гидрологических расчетах / Н. И. Алексеевский, А. Г. Косицкий, А. В. Христофоров. – Текст : непосредственный // Вестник Томского государственного университета. – 2013. – № 371. – С. 167–170.
10. Bak, P. Self-organized criticality : an explanation of $1/f$ noise / P. Bak, C. Tang, K. Wiesenfeld. – Direct text // Physical Review Letters. – 1987. – Vol. 59, Issue 4. – P. 381–384.

11. Горбунов, П. А. Особенности прогноза нефтегазоносности северной части Западно-Сибирской плиты на основе модели тектонической дислоцированности осадочного чехла / П. А. Горбунов, С. В. Воробьев, С. Р. Бембель. – Текст : электронный // Вестник Евразийской науки. – 2020. – Т. 12, № 1. – URL: <https://esj.today/PDF/60NZVN120.pdf>.

References

1. Mel'nikov, N. V. (Ed.) (1977). *Geologiya i neftegazonosnost' Leno-Tungusskoy provintsii: sbornik statey*. Moscow, Nedra Publ., 205 p. (In Russian).
2. Bembel, S. R., Avershin, R. V., Bembel, R. M., & Kislukhin, V. I. (2020). Geological model and optimal well placement substantiation at the western part Tyumen suite layers of Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug — Ugra. *Oil and Gas Studies*, (6), pp. 8-24. (In Russian). DOI: 10.31660/0445-0108-2020-6-8-24
3. Bembel, S. R., Bembel, R. M., & Rogozhneva, V. O. (2022). Definition of the geological structure of deposits of Tyumen suite based on the results of tectonic-sedimentary analysis of the eastern part of the Krasnoleninsky arch of Western Siberia. *Oil and Gas Studies*, (6), pp. 9-25. (In Russian). DOI: 10.31660/0445-0108-2022-6-9-25
4. Sevastyanov, A. A., Korovin, K. V., Zotova, O. P., & Zubarev, D. I. (2017). Geological characteristics and assessment of the potential production of the Tyumen suite deposits. *Bulletin of Perm University. Geology*, 16(1), pp. 61-67. (In Russian).
5. Bembel, S. R. (2019). *Geologicheskie modeli zalezhey nefti tyumenskoy svity v zapadnoy chasti KhMAO — Yugry. Trudnoizvlekaemye zapasy nefti i gaza. Problemy, issledovaniya i innovatsii: materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Ufa, Ufa State Petroleum Technological University Publ., pp. 24-25. (In Russian).
6. Kostenevich, K. A., Belous, O. I., & Slyunkina, S. A. (2017). Vliyanie usloviy formirovaniya i postsedimentatsionnykh protsessov preobrazovaniya otlozheniy na strukturu pustotnogo prostranstva i fil'tratsionno-emkostnye svoystva porod-kollektorov produktivnogo gorizonta tyumenskoy svity Krasnoleninskogo svoda. *Sovremennye problemy sedimentologii v neftegazovom inzhiniringe: trudy III Vserossiyskogo nauchno-prakticheskogo sedimentologicheskogo soveshchaniya*, Tomsk, April, 10-12, 2017. Tomsk, TSPPS ND Publ., pp. 84-90. (In Russian).
7. Kontorovich, A. E., Surkov, V. S., & Salmanov, F. K. (1975). *Geologiya nefti i gaza Sibirskoy platformy*. Moscow, Nedra Publ., 680 p. (In Russian).
8. Bembel, S. R. *Geologiya i kartirovanie osobennostey stroeniya mestorozhdeniy nefti i gaza Zapadnoy Sibiri*. Tyumen, Tyumen State Oil and Gas University Publ., 226 p. (In Russian).
9. Alekseevskiy, N. I., Kositskiy, A. G., & Khristoforov, A. V. (2013). Fraktal'nye svoystva rechnykh sistem i ikh ispol'zovanie v gidrologicheskikh raschetakh. *Tomsk State University Journal*, (371), pp. 167-170. (In Russian).
10. Bak, P., Tang, C., & Wiesenfeld, K. (1987). Self-organized criticality: an explanation of the 1/f noise. *Physical Review Letters*, 59(4), pp. 381-384. (In English).

11. Gorbunov, P. A., Vorobyev, S. V., & Bembel, S. R. (2020). Features of the forecast of oil and gas potential in the northern part of the West Siberian Plate based on the tectonic dislocation model of the sedimentary cover. The Eurasian Scientific Journal, 12(1). (In Russian). Available at: <https://esj.today/PDF/60NZVN120.pdf>

Информация об авторах / Information about the authors

Бембель Сергей Робертович,
доктор геолого-минералогических наук,
профессор кафедры геологии месторождений нефти и газа, Тюменский
индустриальный университет, г. Тю-
мень, bembel_gsr@mail.ru

Sergey R. Bembel, Doctor of Geol-
ogy and Mineralogy, Professor at the De-
partment of Geology of Oil and Gas
Fields, Industrial University of Tyumen,
bembel_gsr@mail.ru

Рогожнева Вероника Олеговна,
аспирант кафедры геологии месторождений нефти и газа, Тюменский
индустриальный университет, г. Тю-
мень

Veronika O. Rogozhneva, Post-
graduate at the Department of Geology of
Oil and Gas Fields, Industrial University
of Tyumen

Уткин Никита Владимирович,
аспирант кафедры геологии месторождений нефти и газа, Тюменский
индустриальный университет, г. Тю-
мень

Nikita V. Utkin, Postgraduate at
the Department of Geology of Oil and Gas
Fields, Industrial University of Tyumen

Статья поступила в редакцию 11.01.2024; одобрена после рецензирования 25.01.2024; принята к публикации 29.01.2024.

The article was submitted 11.01.2024; approved after reviewing 25.01.2024; accepted for publication 29.01.2024.