О КЛАССИФИКАЦИОННОМ РАЗНООБРАЗИИ ЛОВУШЕК НЕФТИ И ГАЗА И ГЕОХИМИЧЕСКИХ КРИТЕРИЯХ ПРОДУКТИВНОСТИ СЛАНЦЕВЫХ ФОРМАЦИЙ

С.А. Пуланова

Институт проблем нефти и газа Российской академии наук, Москва, Россия

On the Classification Diversity of Oil and Gas Trappers and Geochemical Criteria for the Productivity of Shale Formations

S.A. Punanova

Oil and Gas Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Abstract

The article considers the classification attributes of non-anticlinal traps on the basis of analytical research and critical analysis of literary sources. A certain excess of classification definitions and characteristics of traps, used by researchers both to describe universal schemes and for specific oil and gas basins, and their frequent discrepancies reasonably lead ultimately to an enlargement of types and subtypes of traps, combining them into three main classes of accumulations: continuous and quasi-continuous (unconventional) and discontinuous (conventional). It is noted that in combination with geophysical, seismostratigraphic, paleogeographic, paleotectonic, hydrogeological and other methods of studying the genesis and morphology of traps, and their search, geochemical methods of forecasting and searching for hydrocarbon accumulations at all stages of prospecting and exploration are now widely introduced. The practical possibilities of geochemical methods for evaluating the effective productivity of thin traps of carbonaceous formations are shown on the example of the Bazhenov and Domanik deposits of Russia, as well as the shale plays of the Bakken, Eagle and others in the United States.

Keywords:

Non-anticlinal traps;
Thin traps;
Reservoirs;
Oil and gas;
Classification of traps;
Carbonaceous formations;
Geochemical studies.

© 2021 «OilGasScientificResearchProject» Institute. All rights reserved.

Введение

При оценке перспектив нефтегазоносности осадочных бассейнов важным этапом является выявление литологических и структурных особенностей ловушек. Прогноз и оконтуривание в зонах нефтегазоаккумуляции ловушек – вмещающих углеводородных (УВ) флюидов, являются необходимым звеном успешных поисков нефтегазовых скоплений. В настоящее время низка вероятность открытия крупных месторождений нефти и газа, приуроченных к антиклинальным структурам – структурным ловушкам. В связи с этим, происходит переориентация на поиск ловушек более сложного строения – неантиклинальных комбинированных. С 2000 года в ловушках неантиклинального типа накопленная добыча (в ВВОЕ – нефтяной энергетический эквивалент миллиона баррелей нефти) составляет

более 50%. Основные ресурсы сконцентрированы в ловушках, связанных с турбидитами, рифовыми постройками и нефтенасыщенными интервалами (ловушками) сланцевых формаций [1].

Наиболее распространёнными классификациями залежей УВ (наряду с классификациями по фазовому состоянию флюидов, по сложности строения, по дебитам, по запасам УВ и др.) являются классификации по типу ловушек, разработанные в разные годы многими отечественными и зарубежными исследователями (М.В. Абрамович, А.Г. Алексин, А.А. Бакиров, И.О. Брод, Н.Б. Вассоевич, И.В. Высоцкий, Г.А. Габриэлянц, А.А. Гусейнов, М.А. Жданов, Н.А. Еременко, А.Я. Кремс, И.М. Кузнецов, И.А. Ларочкина, М.Ф. Мирчинк, А.А. Поляков, Н.С. Окнова, В.Б. Оленин, В.Я. Ратнер, В.В. Семенович, А.М. Серегин, Н.Ю. Успенская, В.Е. Хаин, О. Wilhelm, W.B. Wilson, S.A. Sonnenberg, Jing-Zhou Zhao, S. Luthi, F.K. North, A.I. Levorsen и многие другие).

Анализ опубликованных исследований и критический их обзор показал, что расширение классификационных атрибутов не привело к однозначности и однотипности определения тех или иных ловушек, встречающихся в нефтегазоносных бассейнах (НГБ) различного строения и различного в связи с этим онтогенеза УВ. Некоторый избыток классификационных определений и характеристик ловушек, используемый исследователями как для описания универсальных схем, так и для конкретных НГБ, и их частое при этом разночтение обоснованно приводят в конечном итоге к укрупнению типов и подтипов ловушек. В последних публикациях намечается тенденция привязки различных генетических и морфологических типов ловушек к особенностям нефтегазовых систем и объединению их в три основных класса скоплений: непрерывные и квазинепрерывные (нетрадиционные) и прерывистые (традиционные) [2-4]. Неантиклинальные ловушки, практически не нашедшие пока классификационных наименований в рекомендованных вариантах классификаций, например, выявленные в нетрадиционных сложно построенных объектах, так называемые, тонкие протяженные ловушки в сланцевых (углеродсодержащих) формациях (баженовская свита, доманиковые отложения, формация Баккен, Игл и др.), относятся к классу непрерывных скоплений. Резервуары в этих геологических объектах признаны в настоящее время обладающими большими ресурсами и запасами УВ, а методика их поиска является наиболее проблематичной и сложной. В современном мире подобным ловушкам придается большое значение. Методы исследования и картирования ловушек различны, однако в связи с привлечением в разработку нетрадиционных ловушек сланцевых формаций геохимические методы оценки эффективной продуктивности приобретают особый статус.

Существующие представления о классификации ловушек

Довольно раннее упоминание в нефтяной геологической литературе о резервуарах нефти и газа можно почерпнуть в работах американских исследователей. Так, еще в 1934 году определение ловушки как геометрического расположения пластов, позволяющего накапливать нефть или газ, или и то, и другое в промышленных количествах, т.е. подразумевающее две основные функции – аккумуляцию УВ и препятствие их удалению, было высказано W.B. Wilson. Этот исследователь подразделил ловушки на структурные и литологически ограниченные, имея в виду замыкание коллектора локальными деформациями пластов, либо изменением пористости пород. В 1941 году W.B. Heroy основное внимание придавал процессам литификации, разделив ловушки на осадочные (диагенетические) и/или деформационные. O.N. Wilhelm в 1945 году спектр ловушек расширил до 3-х категорий, счи-

тая важными генетические причины их замыкания (особенности границ) [5].

А.И. Леворсеном [6] было предложено выделять ловушки трех основных типов: структурные (ловушки антиклиналей и других структур, связанных с тектоническими деформациями) как пликативные, так и дизъюнктивные, стратиграфические (стратиграфические, литологические, гидродинамические) и комбинированные. Необходимо уточнить и понятие ловушки: «Ловушка, в которой присутствует залежь нефти и/или газа, представляет собой участок недр, состоящий из коллекторов и примыкающих плохо проницаемых отложений, способный аккумулировать УВ в своей коллекторской части и заключающий в ее пределах залежь нефти и/или газа». Т.е., при оконтуривании ловушек и прогнозе скоплений следует учитывать, что не всякая ловушка станет залежью, обязательны условия для сохранности скоплений [7].

Остановимся кратко на нескольких основополагающих работах по классификации ловушек. В большом монографическом труде-справочнике коллектива авторов приводится сводка по строению залежей нефтяных и газовых месторождений России, бывших союзных республик и бассейнов многих стран мира [8]. Можно отметить, что и в настоящее время справочник не потерял своей значимости по огромному количеству иллюстративного материала. Теоретический и практический материал по характеристике сложных неантиклинальных ловушек и методике их поисков был отражен в ряде исследований, проводимых в Институте геологии и разработки горючих ископаемых (ИГиРГИ, Москва) еще в конце прошлого столетия. Подчеркивается, что основу методики поисков залежей нефти и газа в сложнопостроенных ловушках представляет интерпретация данных сейсморазведки МОГТ в комплексе с материалами бурения и ГИС, а прогнозирование и выявление непосредственно залежей УВ – актуальная задача и конечная цель сейсмогеологического анализа. Характерной особенностью ловушек комбинированного типа является сочетание структурной, литологической, стратиграфической, а также дизъюнктивной составляющих. Степень участия тех или иных формирующих факторов отражена в названии соответствующих групп ловушек [9].

В настоящее время проблемам классификации ловушек также посвящено большое количество разработок, в которых освещаются современная актуальность изучения ловушек именно комбинированного типа, методы выявления ловушек разного типа и строения, новые классификационные стандарты, а также сложность прогноза подобных ловушек.

Классификации неантиклинальных ловушек, созданные разными авторами, базируются на генетическом и морфологическом принципах. В соответствии с последними классификациями можно выделить четыре основных типа неан-

тиклинальных ловушек: литологически экранированные, стратиграфически экранированные, тектонически экранированные и комбинированные. Так, Н.С. Окнова [10], основываясь на изучении ловушек в Волго-Уральском и Западно-Сибирском НГБ, приводит расширенную «генетическую» классификацию неструктурных ловушек. Они подразделяются на литологически ограниченные (седиментационные, биогенные и постседиментационные), литологически экранированные (регионально и локально экранированные) и тектонически экранированные (приразломные и поднадвиговые). Каждый из выделенных типов автором подразделен на ряд подтипов в зависимости от условий образования. Так, литологически ограниченные ловушки могут быть разделены на седиментационные: терригенные и постседиментационные, обязанные своим образованием вторичным процессам. Среди выделенных подтипов различаются ловушки, сформированные в различных фациальных условиях: аллювиальные, дельтовые, прибрежно-морские, глубоководных конусов выноса. Среди биогенных ловушек выделяются рифовые, биогермные и т.д.

Литологические и стратиграфические экраны могут быть региональными и локальными. При выклинивании на бортах бассейнов образуются региональные зоны выклинивания, протягивающиеся на сотни километров, перспективные при поисках нефти и газа. Локальные выклинивания формируются на отдельных структурах, и в этих случаях образуются структурно-литологические и структурно-стратиграфические ловушки. Более детальное разделение на большое количество разновидностей автор проводит по морфологическим признакам: форме, строению экрана и коллектора, углам наклона пластов и т.д. Морфологические типы ловушек могут быть очень разнообразны, и морфологические классификации применяются на стадиях разведки и эксплуатации. Практика проведения нефтепоисковых работ показывает, что поиски на структурах составляют только первый этап работ, а второй, более продолжительный и сложный, связан с поисками залежей УВ в неантиклинальных ловушках [10].

Стоит остановиться на работах И.А. Ларочкиной [11] с детальными проработками классификационных особенностей комбинированных ловушек для территории Татарстана. Автор считает, что в основу систематизации (классификации) типов ловушек должен быть положен именно генезис ловушек, который определяет морфологию, литологический состав, особенности их залегания и закономерности площадного развития. На этапах зонального и локального прогноза залогом успешной методики поисков и разведки залежей нефти служит создание модели ловушки геофизическими методами и, в первую очередь, сейсморазведкой. На поисково-оценочном этапе задаются прогнозные модели ловушек, на основе которых закладываются соответствующие плотности сейсмических про-

филей, оптимальные расстояния между ними, схемы их размещения и ориентации. Ведущим, определяющим морфологию ловушек, является тектонический фактор.

Система размещения всех структурных форм и нефтегазовых ловушек подчиняется региональной схеме тектонических напряжений. Исходя из этого, предлагается выделять два класса ловушек – тектогенные и седиментационно-тектоногенные. Тектогенные ловушки сформированы под непосредственным влиянием тектонических движений и могут охватывать все интервалы стратиграфического разреза, но чаще проявляются только в нижних этажах осадочной толщи, являясь зачастую погребенными. Среди седиментационно-тектоногенных выделяются две группы ловушек – тектоно-аккумулятивные и тектоно-аккумулятивно-деструктивные. По мнению автора, разработанная детальная генетическая классификация ловушек с соответствующими, характерными для них, типами залежей, способствует оптимальному размещению поисковых, оценочных и разведочных скважин, избегая бурения дорогостоящих эксплуатационных скважин. На территории Татарстана и сопредельных с ней регионах широко распространены ловушки, сформированные над различными структурными выступами фундамента [11].

Наиболее детальная классификация ловушек представлена в работах А.А. Полякова с соавторами [12]. В ней отмечается, что в большинстве ранее предложенных классификаций ловушек используются как генетические признаки, отражающие представления о происхождении контролирующих ловушки структурных форм [7], так и морфологические. Первый из этих признаков наиболее важен при проведении поисковых работ, так как именно генезис ловушек является главным поисковым критерием. Второй – морфологический признак, главенствует на стадии разведки. Авторы в своем исследовании, усложняя предыдущие классификации на основе анализа 1200 залежей, расположенных на территории и в акватории России и зарубежных стран, предлагают морфогенетическую классификацию залежей нефти и газа, считая, что для решения практических задач на этапе ГРП целесообразно говорить о применении именно такой классификации. В этой классификации учитывается наряду с природой вмещающей залежь ловушки и её структурная приуроченность, морфология и факторы, контролирующие размещение залежей УВ.

Не останавливаясь подробно на всей классификации, отметим, что в группе комбинированных ловушек выделяются залежи, связанные с различного типа экранами, т. е. залежи, экранированные разрывными нарушениями, границами областей отсутствия коллекторов, соляными интрузиями, жерлами грязевых вулканов, дайками интрузивных пород, поверхностями несогласий и некоторыми другими факторами. Восстановление истории развития бассейна седи-

ментации, определение обстановок осадконакопления, выявление зон, благоприятных для формирования неструктурных ловушек УВ, проводятся на основании комплексной интерпретации сейсмических, промыслово-геофизических, литолого-фациальных и геохимических данных.

Большой вклад в разработку методики поисков и классификационных особенностей неантиклинальных ловушек привнесли программные исследования [13, 14], основанные на большом научном и аналитическом материале по большинству НГБ России. В современном мире основной тренд поисков и добычи нефтегазовых ресурсов «связан в основном уже не с антиклинальными структурами, а со сложными геологическими объектами литолого-стратиграфического и дизъюнктивно-экранированного типов. Поиск неструктурных ловушек в мировой практике – это одна из самых трудных задач, и решается она только на основе применения инновационных разработок в методике геолого-разведочных работ на нефть и газ» [13, стр.10]. Отмечается, что при всем разнообразии ловушек за основу преимущественно берутся генетический и морфологический признаки, и под неструктурными обычно понимаются три вида ловушек – литологического, стратиграфического и тектонического экранирования (и комбинированного типа). В работе обосновываются методы поиска и выявления ловушек УВ неструктурного типа, приведен обзор строения ловушек по нефтегазоносным комплексам основных НГБ России (Западно-Сибирскому, Волго-Уральскому, Тимано-Печорскому и др.)

Во многих зарубежных исследованиях также основной приоритет развития нефтегазопоско-вой геологии отдается именно строению и морфологии ловушек – аккумуляторам нефти и газа. Так, в работах [1–4] за основу классификации

НГБ по характеру и типу УВ систем приняты именно особенности резервуаров. В каждом НГБ существуют три основных типа нефтяных систем (НС) в соответствии с тремя основными типами резервуаров – вместилищами нефтяных УВ, которые характеризуются качеством резервуара и морфологией ловушек в сочетании с соответствующими показателями миграции и накопления УВ. Нефтегазоносные комплексы в НГБ в соответствии с классификацией НС содержат непрерывные, квазинепрерывные и прерывистые скопления. Достаточно подробное описание этой классификации нами приведено в предыдущих работах [15–17].

В соответствии с основными типами резервуаров представлены следующие нефтяные системы с их характерными особенностями онтогенеза УВ: нефтематеринская (или исходная) НС (*source-rock petroleum system SPS*) с непрерывными резервуарами (*continuous*); нефтяная и/или газовая НС в плотных низкопроницаемых породах (*tight petroleum/gas system TPS*) с квазинепрерывными резервуарами (*quasi-continuous*) и традиционная (обычная) пластовая НС (*conventional petroleum system CPS*) с прерывистыми (дискретными) резервуарами (*discontinuous*) (табл. 1) [2]. На рисунке 1 показано в разрезе распределение скоплений УВ в бассейне Ордос (Китай). Здесь наглядно продемонстрировано наличие трех НС, приводимых в классификации. Нефтематеринская (или исходная) НС (*SPS*) с непрерывной аккумуляцией сланцевой нефти (сланцы триаса Чанг 7 являются основными нефтематеринскими породами), скопления нефти плотных песчаников (*TPS*) в пластах Чанг 8 и 4–5 (ниже и выше пласта Чанг 7), где преобладают квазинепрерывные скопления, а также скопления нефти (*CPS*), которые обнаружены в песчаных коллекторах пласта Чанг 3 – юрской формации Яньчань и

Рис.1. Поперечный разрез, иллюстрирующий распределение скоплений нефти в триасовой формации Яньчань бассейна Ордос [2] согласно НС: SPS и TPS (нетрадиционные резервуары-ловушки) и CPS (традиционные резервуары-ловушки). Показаны цветом: красным – нефтяные пласты, голубым – водоносные горизонты, темным – сланцевая формация Яньчань

Таблица 1

Сравнение нефтяных систем: исходной нефтематеринской, плотных низкопроницаемых коллекторов и традиционной (модифицировано из [2])

Типы нефтяных систем (НС)	Нефтематеринская (или исходная) НС SPS	Нефтяная и/или газовая НС в плотных низкопроницаемых коллекторах TPS	Обычная (традиционная) пластовая НС CPS
Основные элементы			
Нефтематеринская порода	Сланцы, карбонаты, угли	Сланцы, карбонаты, угли	Сланцы, карбонаты, угли
Коллектора	Нефтематеринская порода	Низкопроницаемые песчаники и карбонаты	Традиционные коллектора
Покровы	Самоуплотняющиеся сланцы	Самоуплотняющиеся аргиллиты, карбонаты и др.	Аргиллиты, карбонаты и др.
Ловушки	Исходные породы, коллектора-ловушки не требуются	Часто неантиклинальные, антиклинальные очень редко	Обязательны, различные
Основные процессы			
Генерация	Происходит одновременно в породах-источниках и ловушках	После того, как резервуар станет плотным	До или одновременно с формированием ловушки
Миграция	Первичная: незначительная или на короткие расстояния	Первичная и вторичная, в основном на короткие расстояния; поток, управляемый избыточным давлением	Первичная и вторичная значительны; поток, управляемый плавучестью или избыточным давлением
Аккумуляция	Непрерывная и не имеет четких границ	Квазинепрерывная реже прерывистая	Прерывистая
Сохранность	Обычно отличная	От умеренной до превосходной	Иногда характеризуется как критическая
Резервуары	Непрерывные	Квазинепрерывные, вторично прерывистые	Географически дискретные, прерывистые
Типичное накопление	Сланцевая нефть и газ (Shale oil and gas)	Плохопроницаемые коллектора с трудноизвлекаемыми запасами нефти и газа (Tight oil and gas)	Традиционный резервуар (Conventional)

являются традиционными коллекторами.

На рисунке 2 проиллюстрирована принципиальная схема распределения в НГБ традиционных и нетрадиционных ловушек [4].

Такое распределение нефтяных систем в осадочных бассейнах по онтогенезу вмещающих резервуаров УВ существует, как нам представляется, в каждом НГБ. Ранее [15–17] мы показали на примере различных НГБ (Австралии, страны небогатой в плане УВ ресурсов, Пермском бассейне США и Западно-Сибирском НГБ России с высокими запасами) перспективность такого систем-

ного подхода к оценке скоплений. В каждом из рассмотренных бассейнов (как бедных, так и богатых ресурсами) оценку перспективности территорий следует давать комплексно с учетом наличия трех типов НС и соответствующих ловушек.

Геохимические исследования при анализе продуктивности сланцевых формаций

В настоящее время в России и за рубежом геохимические исследования, связанные с оценкой нефтеносности территорий, приобретают все большую теоретическую и практическую зна-

чимость. Об этом свидетельствуют как большой объем публикаций российских исследователей таких научных центров как Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН (Новосибирск), ВНИГРИ (С-Петербург), Института химии нефти РАН (Томск), Кафедры геологии и геохимии горючих ископаемых Геологического факультета МГУ (Москва), ВНИГНИ (Москва) и др., так и проведение крупных международных симпозиумов по органической геохимии – International Meeting of Organic Geochemistry (Италия, 2017; Швеция, 2019; Франция, 2021) и российских международных конференций («Геохимия нефти и газа, нефтематеринских пород», г. Сыктывкар, 2019; «Новые направления нефтегазовой геологии и геохимии, г. Пермь, 2019) и ряд других мероприятий, связанных с изучением состава нефтей и органического вещества (ОВ) пород на молекулярном уровне.

Геохимическим методам придается огромное значение, так как с их внедрением связано повышение эффективности нефтегазопроисловых работ, снижение затрат на поиски и разведку скоплений УВ. Геохимия стала обязательным элементом исследований при прогнозе, поисках, разведке и разработке месторождений нефти и газа [18]. В настоящее время развивается резервуарная геохимия (термин М.В. Дахновой, [19]), достаточно новое геохимическое направление, которое в сочетании с геолого-геофизическими и промысловыми исследованиями может решать такие задачи, как: определение протяженности резервуаров; корреляция продуктивных пластов; определение экранирующей или флюидопроводящей роли разломов; идентификация работающего пласта при испытании скважин в процессе бурения; определение доли отдельных промысловых объектов в суммарной продукции скважин и др. Применение геохимических исследований с учетом результатов резервуарной геохимии помогает выявлять перспективные интервалы разреза углеводородсодержащих формаций.

Рассмотрим далее более детально прогноз расположения зон добычи нефтяных и газовых скоплений и оценку продуктивности сланцевых формаций, тем более, что к настоящему времени существует достаточно обширный и позитивный материал по этой проблеме, несмотря на то, что задача прогноза продуктивности углеводородсодержащих (сланцевых) толщ до настоящего времени остается спорной. Кроме того, до сих пор нефтесборные интервалы разреза сланцевых формаций не имеют четких классификационных определений в рассмотренных выше классификациях. Отмечается [13], что обогащенные органикой радиоляритовые, сланцевые, карбонатные толщи баженовской, доманиковой, хадумской и куонамской свит, выявление залежей в которых является не только геологической, но и технологической задачей, обособляются в особую группу нестандартных ловушек.

Особенности свит, т.е. их сланцевый характер и частое чередование более плотных и менее плотных пород – накопителей и производителей УВ, приводят к трудностям дешифровки в их строении собственно нефтематеринских (с остаточной нефтью) и продуктивных прослоев. Эта неопределенность вызвана тем, что методы исследования традиционных УВ скоплений не применимы к нетрадиционным объектам, которые являются одновременно и нефтематеринскими и нефтесодержащими. Пласты коллекторы не являются ловушками в обычном понимании, а представлены довольно протяженными участками с хорошими коллекторскими свойствами. Стоит отметить, что само понятие о ловушках в традиционном привычном значении как ограниченных накопителей УВ не приемлемы к любым сланцевым формациям. В мировой литературе такие «собиратели» нефти носят название «протяженных» или «непрерывных» резервуаров (continuous reservoirs) или тонких ловушек несогласного залегания (unconformity subtle traps). Они представляют собой тонкие длинные, большой протяженности, но малой мощности структуры, в которых продуктивность резервуара-залежи не контролируется традиционными структурными или литолого-стратиграфическими ограничениями, а лишь условными «линиями» [3].

Существует большая неоднозначность даже в понятийной базе «сланцевой» нефти и газа, используемой в России. Предлагается [20] для нетрадиционных непрерывных УВ скоплений использовать следующие термины, соответствующие англоязычным: «oil shale» – сланец, содержащий кероген; «shale oil» – нефть глинистых сланцев; «shale gas» – газ глинистых сланцев; «tight oil» – нефть низкопроницаемых (плотных) пород = низкопроницаемый полуколлектор, содержащий нефть; «tight gas» – газ плотных пород = низкопроницаемая (плотная) порода, содержащая газ. Такого типа нетрадиционные скопления являются непрерывными нефтегазовыми системами, которые включают рассеянные УВ, содержащиеся в породах с низкой проницаемостью матрицы вне зависимости от проницаемости трещин (естественной или в результате использования методов стимуляции для добычи). В отличие от традиционной добычи, при добыче нефти из непрерывной нефтегазовой системы обычно применяется горизонтальное бурение с гидроразрывом пласта, совмещенное с методами стимулирования при отборе нефти, и, в меньшей мере, вертикальное бурение [20].

Примеры гигантских протяженных ловушек в сланцевых формациях с большими запасами УВ отмечаются на американском континенте. Формации Austin Chalk (рис. 3, 4), Woodbinestone, Eagle [1, 21] – геологические образования на востоке Техаса, продуктивны на гигантском нефтяном месторождении Восточного Техаса (также известного как «Черный гигант»), из которого добыто более 5.42 миллиарда баррелей нефти. Формация

Woodbinestone нефтематеринских сланцевых отложений на глубине около 1700 км простирается на территориях штатов Техас, Луизианы и Миссисипи на 500 км в длину и 50 км в ширину. Первые скважины были пробурены в 1920 г., сейчас же в основном проводят горизонтальное бурение. Woodbinestone залегает на сланцах Манесс (Maness), Будаиским известняке (Buda Limestone) и более древних породах и является основой группы Eagle Ford Group или Austin Chalk.

На рисунке 4 показано относительное структурное положение районов добычи и распределение тонких протяженных ловушек нефтяных (Oil production), нефтегазовых (Oil and gas production) и газовых (Gas production) УВ и их стратиграфические привязки на месторождениях Читтим и Пирсолл (Chittim and Pearsall). Большая часть протяженного участка площа-

ди Пирсолл-Гиддингс (Pearsall-Giddings Area) находится в пределах нефтяного окна, поэтому для заполнения коллекторов Остин-Чок требуется небольшая восходящая миграция нефти, хотя восходящая миграция газа, вероятно, также имела место. Нижняя часть интервала Navarro Group-Taylor Group показана оканчивающейся на северо-запад, поскольку кровля пласта не была представлена на каротажных диаграммах. Поперечное сечение составляет около 85 миль в длину, что соответствует примерно 137 км [21].

Пример длинных протяженных нетрадиционных ловушек в сланцевой формации Яньчань в китайском бассейне Ордос наглядно иллюстрирует также рисунок 1 (см. предыдущий раздел статьи).

На рисунке 5 показаны трехслойное строение сланцевой формации Баккен (Bakken Shale Play), стратиграфические привязки и довольно значительные

мощности продуктивных интервалов [22, 23].

Сланцевые формации России в последние годы также активно исследуются научными коллективами ученых с привлечением геохимических моделей их изучения. Отмечается необходимость и эффективность применения методов органической геохимии при вычленении в разрезе толщи пород-коллекторов и оценки ресурсов и запасов содержащейся в них нефти.

В работах [24–26] сформулированы основные особенности и показатели интервалов-накопителей в сланцевых толщах на примере доманиковой формации Волго-Уральского и баженовских отложений Западно-Сибирского НГБ. Учитывая повсеместную нефтенасыщенность пород доманиковой толщи и отсутствие свободной воды, общепринятая трактовка нефтяной залежи как определенного объема нефти, заключенного в ловушке между непроницаемой покрывкой и подстилающей пластовой водой, требует моди-

фикации. «Под залежью в доманиковой толще можно условно понимать нефть в пласте или группе пластов, отличающихся от соседних пластов лучшими коллекторскими свойствами и дающих промышленные притоки при освоении» [24, 26]. Пример таких протяженных залежей показан на рисунке 6.

Продemonстрирована латеральная выдержанность слоев и пачек пород доманиковой толщи, которая распространяется на всей территории Кашаевского участка (Муханово-Ероховский прогиб) и выходит за его пределы. Учитывая повсеместную нефтенасыщенность доманиковой толщи и связь повышенной пористости пород с кремнисто-карбонатными слоями, обогащенными ОВ, авторы предполагают, что промышленные притоки нефти при условии применения оптимальной технологии будут получены на всей этой территории из продуктивной части разреза [25]. Авторы исследований считают, что полу-

ченные геохимические данные свидетельствуют о том, что источником нефти в поровом пространстве пород доманиковой толщи является ОВ, содержащееся в тех же породах. Результаты аналитических работ показывают отличную корреляцию нефтей, полученных при опробовании различных интервалов разреза скважины, с битумоидами, экстрагированными из пород тех же интервалов. Эта корреляция выявляется как при сопоставлении биомаркеров, так и методами резервуарной геохимии с помощью построения звездных диаграмм по данным газовой хроматографии [19, 24].

В работе [27] на материале изучения отложенных семилукско-речицкого возраста «доманикового типа» на территории Республики Татарстан предложены новые геохимические коэффициенты для целей выявления продуктивных интервалов разреза. Данные по ароматическим каротиноидам ОВ отложений позволяют расчленять разрез доманиковых отложений на участки преимущественного развития автохтонной органики в плотных карбонатно-кремнистых породах и участки с преимущественным содержанием подвижных миграционных параавтохтонных битумоидов. Последние скорее всего и насыщают промышленные скопления. Применение новых геохимических коэффициентов на основе характерных для доманиковых отложений УВ соединений позволяет в режиме «геохимического каротажа» дифференцировать разрез семилукского горизонта и выявлять в нем как плотные прослои с высоким содержанием остаточного ОВ, так и интервалы-коллекторы и зоны трещиноватости.

По образному выражению А.Э. Конторовича – карбонатно-глинисто-кероген-кремнистые породы баженской свиты – уникальное скопление углеводородистого ОВ (керогена) и нефти, а также серы, урана, ванадиловых порфиринов – наследников бывшего хлорофилла [28]. Результаты большого цикла геохимических исследований в плане диагностики проницаемых нефтенакрывающих пластов в баженской свите на территории Западно-Сибирского НГБ отражены в ряде публикаций, в которых придается главенствующее значение процессам катагенетических преобразований ОВ отложений. Так, в работе [29] показана большая роль диагностических различий разнообразного типа битумоидов, выявляемых в разрезе баженских отложений. Проведена диагностика автохтонных (сингенетических, связанных) и аллохтонных (перемещенных) битумоидов, в том числе параавтохтонных мобильных битумоидов, которые утратили связь с исходным ОВ, но при этом не покинули нефтематеринскую толщу (перемещенных в самой нефтематеринской толще) и показано, что на концентрацию битумоидов решающее влияние оказывает уровень катагенеза ОВ. Выявляется приуроченность нефтенасыщенных горизонтов баженской толщи к пачкам пород, относительно обедненных ТОС с параавтохтонным битумоидом.

Высокообогащенные ОВ (> 10 % современного содержания ТОС) пачки пород, как правило, не содержат параавтохтонной нефти. Установленная связь между нефтенасыщенностью пород и содержанием $C_{орг}$ (ТОС) позволяет выделять потенциально нефтенасыщенные интервалы внутри толщи по данным ГИС даже при отсутствии керна. Наиболее перспективными из них будут интервалы, обедненные $C_{орг}$, но контактирующие с высокообогащенными $C_{орг}$ (ТОС) пачками пород.

Процессы катагенеза и концентрация ОВ в породах баженской свиты определяют не только масштабы нефтегазообразования, но и емкостные характеристики пород их слагающие [25]. Т.е. установлено, что региональные закономерности распределения нефти в самих углеродсодержащих толщах контролируются начальными концентрациями в породах ОВ и его катагенетической зрелостью. Одним из важнейших процессов, приводящих к формированию эффективных коллекторов в породах баженской свиты, является процесс катагенетического преобразования ОВ, который, как отметили авторы, был описан ещё в конце прошлого века (Краснов и др., 1980; Дорофеева и др., 1983), а также в работах последних лет [30–32]. Детальное изучение влияния катагенетической зрелости ОВ на поровые характеристики и распространение коллекторов в баженской формации проведено также группой авторов [33]. Исследование основано на применении современных геохимических методов, включающих пиролиз, анализ строения пород методом сканирующей электронной микроскопии и зрелости керогена и распространения УВ в породе методом люминесцентной микроскопии. По мнению авторов, поровое пространство керогена является частью общей пористости пород. Причем на величину пористости положительно влияет наличие в породах-коллекторах прочных кремнистых или карбонатных разностей в составе минерального каркаса, препятствующих закрытию пор под влиянием горного давления, а также наличие минералов, стимулирующих преобразование керогена.

Оригинальные, но спорные выводы прослеживаются по результатам петрогеохимических исследований в работе [34]. При рассмотрении модели седиментации отложений баженской свиты и минералогического состава пород используются мультипликативные петрофизические параметры. На основе связи продуктивности отложений с индикатором хрупкости предлагается методика выделения коллекторов. Авторы допускают, что наряду с биогенным нафтидогенезом на формирование промышленных скоплений УВ в баженской свите могут оказывать влияние флюидодинамические процессы в пределах северных районов Западной Сибири.

Практический результат проводимых фундаментальных исследований, а именно возможность по геохимическим данным выде-

лять нефтенасыщенные протяженные пласты, непосредственно используется при разработке баженовских отложений в компании «Салым Петролеум Девелопмент Н.В.».

Остановимся далее на исследованиях, проведенных непосредственно автором на основе анализа битуминозных компонентов баженовских отложений, которые также свидетельствуют о возможности использования геохимических различий в составе ОБ сланцевых формаций для выводов об их продуктивности [35–38]. В качестве генетических коррелятивов мы привлекли данные по компонентному составу битумоидов, а также содержанию микроэлементов (МЭ) в нефтях и битумоидах.

Сходство нефтей и сингенетических битумоидов пород по распределению МЭ может свидетельствовать об участии этих толщ в процессах нефтеобразования. Для более обоснованного суждения о наличии в осадочном разрезе нефтематеринских отложений и возможности диагностировать нефтесборные интервалы разреза необходимо четко разделять битуминозные компоненты на *автохтонные* (сингенетические) и *эпигенетические* (*параавтохтонные*), как это было предложено и выполнено в предыдущих работах по доманику и баженовской свите.

Анализ состава битумоидов баженовской свиты по площади её распространения показал их значительную неоднородность, что позволило выделить две генетические разновидности [35]. Первая, *сингенетические автохтонные битумоиды*, характеризуется высокими значениями $C_{орг}$ при низких величинах β (коэффициент битуминозности $\beta = B/C_{орг}$, %, где B – содержание битумоида) не более 7–8%, высоким коэффициентом метаморфизма $k_i = (P + \Phi) / (n - C_{17} + n - C_{18})$ до 0.8, относительно высокой концентрацией и разнообразием различных кислородсодержащих структур при повышенной суммарной ароматичности. Отличается, как правило, высоким содержанием V, Ni, Co, Mo и других МЭ, связанных с асфальто-смолистыми компонентами. Концентрация «подвижных» МЭ, тех, что ассоциируют с масляными УВ компонентами – Fe, Au, Pb, Cu и других, в них ниже. Вторая разновидность битумоидов *эпигенетические, параавтохтонные битумоиды*, характеризуется повышенным β (до 30%), низкими величинами k_i (0.1–0.3), невысокой концентрацией кислородсодержащих соединений и суммарной ароматич-

ностью по отношению к группам CH_2 n -алканов. В битумоидах этого типа практически не обнаружены порфирины. Распределение МЭ в эпигенетических битумоидах отражает их миграционный характер, иногда контаминационный, они более подвижны, имеют, по сравнению с сингенетическими битумоидами, более низкие концентрации «тяжелых» МЭ.

В таблице 2 представлен наглядный пример такого резкого различия МЭ состава сингенетических (*автохтонных*) и эпигенетических (*параавтохтонных*) битумоидов в баженовской свите Западной Сибири.

Таким образом, по результатам наших исследований любые перемещения флюидов внутри углеродсодержащих толщ приводят к изменению их состава, в частности к обогащению более подвижными (Au, As и Se) и обеднению менее подвижными (V, Ni, Co, Mo, Zn) элементами и коррекции их соотношений. Выявленные особенности МЭ состава флюидов могут являться маркерами прогноза продуктивности резервуаров исследуемых формаций. Однако, процесс перехода МЭ из одной УВ субстанции в другую достаточно сложный и многофакторный. Об этом свидетельствуют исследования [39], основанные на детальном изучении образцов из нефтематеринских отложений формации Баккен, подвергшихся в лабораторных условиях запрограммированному пиролизу с получением данных по T_{max} , Ro УФ-флуоресценции мацериальной группы липтинита и по результатам ядерно-магнитно-резонансной спектроскопии. При этом хорошими индикаторами процессов катагенетического преобразования ОБ в изучаемых отложениях, наравне с УВ показателями, явились концентрации редокс-чувствительных металлов, например, V и Mo. Авторы считают, что существует вероятность того, что увеличение термической зрелости может привести к высвобождению некоторых чувствительных к окислительно-восстановительному потенциалу МЭ, таких как, Mo и V и способствовать увеличению их концентраций в перемещающейся УВ фракции и в поровой воде. Таким образом, необходимым условием применения определенных УВ и МЭ показателей является, на наш взгляд, равные условия сравнения, а именно близость катагенетических преобразований и учет окислительно-восстановительного потенциала.

Таблица 2
Сопоставление МЭ состава син- и эпигенетических битумоидов пород баженовской свиты (месторождение Салым) [36]

Привязка пробы	Тип битумоида	Содержание МЭ, г/т							Концентрационные ряды
		V	Ni	Fe	Cu	Zn	Pb	Co	
Скв. № 137	сингенетический	1040	120	40	10	170	30	< 2.00	V > Zn > Ni > Fe > Pb > Cu > Co
Скв. № 554	эпигенетический	3.6	0.6	3.0	1.7	8.5	2.0	< 0.002	Zn > V > Fe > Pb > Cu > Ni > Co
Скв. № 123, нефть	–	1.3	0.16	0.4	0.2	1.6	0.6	< 0.01	Zn > V > Pb > Fe > Cu > Ni > Co

Выводы

Проанализировав достаточно обширный и научно-обоснованный материал по классификационным особенностям ловушек нефти и газа различного типа и строения на примере многих НГБ (безусловно многое осталось за рамками статьи), можно констатировать следующее.

- Исследователи в своих обобщениях переходят к укрупнению типов и подтипов ловушек, к объединению их в три основные группы скоплений, выделяя надклассовые классификационные элементы: непрерывные и квазинепрерывные (нетрадиционные) и прерывистые (традиционные). Т.е. унифицированная классификация ловушек, приемлемая для различных НГБ, должна быть максимально простой и доступной, объединяющей НС осадочных бассейнов. При этом НС могут содержать как единый источник, так и несколько источников УВ и с позиции их формирования и распространения быть между собой генетически связаны, т.е. присутствовать в каждом бассейне как части единого целого. Поэтому, чтобы максимизировать эффективность поиска и разведки на всех этапах геологоразведочных работ, необходимы всесторонние исследования и различные стратегии, но с учетом принятия парадигмы целостности НГБ с точки зрения онтогенеза УВ скоплений, их общности и различий (в плане исходных нефтематеринских свит, процессов миграции, формирования ловушек и разрушения скоплений).
- Типизацию ловушек и более детальную их классификацию при планировании геологоразведочных работ на поисковом и локальном этапах имеет смысл проводить для определенных нефтегазоносных комплексов и тектонических элементов НГБ с их характерным геодинамическим режимом, палеофациальными условиями, особенностями генерации, миграции, аккумуляции УВ и сохранности залежей.
- В плане важности и глубины проработки материала следует обращать наибольшее внимание на методику выявления комбинированных ловушек в зонах развития углеродсодержащих толщ (сланцевые формации). Именно в ловушках подобных пространств и выявляются в настоящее время гигантские запасы УВ. Высокий научный уровень геохимических исследований органических и неорганических компонент нефтей и ОВ пород (в частности битумоидов) способствует их более эффективному применению на всех этапах и стадиях поисково-разведочных работ для обеспечения прироста запасов УВ-сырья. Эти методы высоко информативны и при разработке месторождений. Анализ опубликованных работ по этой тематике и собственные аналитические данные автора показали следующее.
- Геохимические методы исследования способны учитывать весь спектр генетических факторов, контролирующих образование месторождений – от очага генерации до ловушки. Как показали исследования «сланцевых толщ» разных регионов мира, несмотря на целый ряд различий в их строении и масштабах влияния на нефтеносность подстилающих и перекрывающих отложений, региональные закономерности распределения нефти в самих толщах контролируются одними и теми же факторами: начальными концентрациями в породах ОВ и стадийностью его катагенетического преобразования, причем стадийность катагенеза и концентрация ОВ в породах определяют не только масштабы нефтегазообразования, но и емкостные характеристики пород, слагающих «сланцевые толщи».
- Перемещения флюидов внутри углеродсодержащих толщ приводят к изменению их состава, в частности к обогащению мигрирующих разностей более подвижными миграционно способными (Au, As и Se) и обеднению менее подвижными (V, Ni, Co, Mo, Zn) элементами и изменению их соотношений. В остающейся сингенетичной остаточной части ОВ будут преобладать менее подвижные МЭ, ассоциирующие со смолисто-асфальтеновой фракцией битумоидов. Выявленные особенности МЭ состава флюидов могут являться маркерами прогноза продуктивности резервуаров исследуемых формаций при картировании перспективных участков. Необходимо при этом более детально и глубоко изучить и влияние окислительно-восстановительных процессов на характер выявленных преобразований в МЭ составе нафтидов и степень катагенеза исходного ОВ.

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания по теме: «Развитие научно-методических основ поисков крупных скоплений УВ в неструктурных ловушках комбинированного типа в пределах платформенных нефтегазоносных бассейнов», АААА-А19-119022890063-9.

Литература

1. Dolson, J. (2016). Understanding oil and gas shows and seals in the search for hydrocarbons. *Switzerland: Springer International Publishing*, XIX.
2. Zhao, J.-Z., Li, J., Wu, W.-T., et al. (2019). The petroleum system: a new classification scheme based on reservoir qualities. *Petroleum Science*, 16, 229–251.
3. Dolson, J., Zhiyong, H., Horn Brian, W. (2018). Advances and perspectives on stratigraphic trap exploration-making the subtle trap obvious. *Search and Discovery*, Article 60054.
4. Sonnenberg, S. A., Meckel, L. (2017). Our current working model for unconventional tight petroleum systems: oil and gas. Article #80589. In: *Annual Convention and Exhibition AAPG 2017*.
5. North, F. K. (1985). Petroleum geology. *Boston: Allen & Unwin*.
6. Леворсен, А. И. (1970). Геология нефти и газа. *Москва: Мир*.
- Levorsen, A. (1967). Geology of petroleum. 2nd Edition. *San Francisco, CA: W. H. Freeman and Company*.
7. Оленин, В. Б. (1977). Нефтегеологическое районирование по генетическому принципу. *Москва: Недра*.
8. Ратнер, В. Я., Булатов, Н. Н., Зубова, М. А., Польстер, Л. А. (1982). Залежи нефти и газа в ловушках неантиклинального типа. *Москва: Недра*.
9. Громека, В. И., Алексин, А. Г., Андреев, В. Н. и др. (1994). Состояние поисков и разведки залежей нефти и газа в ловушках нетрадиционного типа. *Геология нефти и газа*, 6, 43–47.
10. Окнова, Н. С. (2012). Неантиклинальные ловушки и их примеры в нефтегазоносных провинциях. *Нефтегазовая геология. Теория и практика*, 7(1).
11. Ларочкина, И. А. (2009). Методическое пособие «Геонотипы ловушек, их значение и прогнозирование на этапе высокой оплоискованности недр Татарстана» по курсу «Региональная геофизика». *Казань: КГУ*.
12. Поляков, А. А., Колосков, В. Н., Фончикова, М. Н. и др. (2015). К вопросу о классификации залежей нефти и газа. *Нефтегазовая геология. Теория и практика*, 10(1).
13. Варламов, А. И., Шиманский, В. В., Танинская, Н. В. и др. (2019). Состояние проблемы поисков и перспектив выявления неструктурных ловушек углеводородов в основных нефтегазоносных провинциях России. *Геология нефти и газа*, 3, 9–22.
14. Шиманский, В. В., Танинская, Н. В., Раевская, Е. Г. (2019). Выявление структурно-литологических ловушек в юрских и нижнемеловых отложениях Западной Сибири на основе палеогеографических реконструкций. *Геология нефти и газа*, 3, 39–46.
15. Пунанова, С. А. (2020, сентябрь). О некоторых приоритетных направлениях развития нефтегазового комплекса. Материалы международной научно-практической конференции «О новой парадигме развития нефтегазовой геологии». *Казань, Ихлас*.
16. Пунанова, С. А. (2020). Прогноз неантиклинальных ловушек и оценка качества скоплений углеводородов в них – приоритетное направление развития нефтегазового комплекса. *Экспозиция Нефть Газ*, 6, 20–24.
17. Пунанова, С. А. (2020). Актуальность картирования неантиклинальных ловушек и особенности их классификаций. *Актуальные проблемы нефти и газа*, 3(30), 13–25.
18. Конторович, А. Э. (1976). Геохимические методы количественного прогноза нефтегазоносности. *Москва: Недра*.
19. Дахнова, М. В. (2007). Применение геохимических методов исследований при поисках, разведке и разработке месторождений углеводородов. *Геология нефти и газа*, 2, 81–89.
20. Прищепа, О. М., Аверьянова, О. Ю. (2014). Понятийная база и первоочередные объекты нетрадиционного углеводородного сырья. *Электронный научный журнал «Георесурсы, геоэнергетика, геополитика»*, 2(10).
21. Pearson, K. (2012). Geologic models and evaluation of undiscovered conventional and continuous oil and gas resources – upper cretaceous Austin Chalk, U.S. Gulf Coast U.S. *Virginia: Geological Survey, Reston*.
22. Прищепа, О. М., Аверьянова, О. Ю., Высоцкий, В. И., Морариу, Д. (2013). Формация Баккен: геология, нефтегазоносность и история разработки. *Нефтегазовая геология. Теория и практика*, 2, 1-11.
23. Pollastro, R. M., Roberts, L. N. R., Cook, T. A., Lewan, M. D. (2008) Assessment of undiscovered technically recoverable oil and gas resources of the Bakken Formation, Williston Basin, Montana and North Dakota. *U.S.: Geological Survey Open-File Report*.
24. Ульмишек, Г. Ф., Шаломеев, А. В., Холтон, Д. Ю., Дахнова, М. В. (2017). Нетрадиционные резервуары нефти в доманиковой толще Оренбургской области. *Геология нефти и газа*, 5, 57–67.
25. Сковорцов, М. Б., Дахнова, М. В., Можегова, С. В. и др. (2017). Роль геохимических методов в прогнозе нефтеносности и оценке ресурсного потенциала черносланцевых толщ (на примере баженовской свиты). *Геология и геофизика*, 58(3–4), 495–503.
26. Соболева, Е. Н. (2020). Особенности строения и перспективы нефтеносности отложений доманикового типа в пределах Муханово-Ероховского прогиба. *Вестник Пермского университета. Геология*, 19(2), 183–188.
27. Остроухов, С. Б., Пронин, Н. В., Плотникова, И. Н., Хайртдинов, Р. К. (2020). Новый метод «геохимического каротажа» для изучения доманиковых отложений. *Георесурсы*, 22(3), 28–37.

28. Конторович, А. Э., Бурштейн, Л. М., Казаненков, В. А. и др. (2014). Баженовская свита – главный источник ресурсов нетрадиционной нефти в России. *Электронный научный журнал «Георесурсы, геоэнергетика, геополитика»*, 2(10).
29. Конторович, А. Э., Костырева, Е. А., Родякин, С. В. и др. (2018). Геохимия битумоидов баженовской свиты. *Геология нефти и газа*, 2, 9–88.
30. Юсупова, И. Ф. (2019). Влияние органического вещества сланцевой залежи на ее свойства. *Актуальные проблемы нефти и газа*, 3(26), 1–4.
31. Абукова, Л. А., Юсупова, И. Ф., Абрамова, О. П. (2014). Роль органического вещества сланцевой залежи в формировании ее проницаемости на раннем катагенном этапе. *Химия твердого топлива*, 48(2), 92–97.
32. Гафурова, Д. Р., Корост, Д. В., Козлова, Е. В. и др. (2017). Изменение пустотного пространства различных литотипов керогенонасыщенных пород доманиковой формации при разных скоростях нагрева. *Георесурсы*, 19(3), 255–263.
33. Калмыков, А. Г., Карпов, Ю. А., Топчий, М. С. и др. (2019). Влияние катагенетической зрелости на формирование коллекторов с органической пористостью в баженовской свите и особенности их распространения. *Георесурсы*, 21(2), 159–171.
34. Бородин, В. Н., Курчиков, А. Р., Маркин, М. А. и др. (2020). К вопросу выделения зон-коллекторов в отложениях баженовской свиты Западной Сибири. *Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений*, 4, 4–13.
35. Чахмахчев, В. А., Пунанова, С. А. (1992). К проблеме диагностики нефтематеринских свит на примере баженовских отложений Западной Сибири. *Геохимия*, 1, 99–109.
36. Шустер, В. Л., Пунанова, С. А. (2018). Новый взгляд на перспективы нефтегазоносности глубоко-залегающих доюрских отложений Западной Сибири. *Георесурсы*, 20(2), 67–80.
37. Пунанова, С. А. (2020, сентябрь). Геохимическая детализация генетических особенностей органического вещества баженовской свиты. *Материалы VIII Всероссийского совещания с международным участием «Юрская система России: проблемы стратиграфии и палеогеографии»*. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН.
38. Punanova, S. (2019, September). Oil source deposits in the Bazhenov formation of Western Siberia. In: *29-th International Meeting on Organic Geochemistry (IMOG), Gothenburg, Sweden, EAGE-IMOG*.
39. Abarghani, A., Gentzis, T., Bo Liu, et al. (2020). Preliminary investigation of the effects of thermal maturity on redox-sensitive trace metal concentration in the Bakken Source Rock, North Dakota, USA. *ACS Omega*, 5(13), 7135–7148.

References

1. Dolson, J. (2016). Understanding oil and gas shows and seals in the search for hydrocarbons. *Switzerland: Springer International Publishing*, XIX.
2. Zhao, J.-Z., Li, J., Wu, W.-T., et al. (2019). The petroleum system: a new classification scheme based on reservoir qualities. *Petroleum Science*, 16, 229–251.
3. Dolson, J., Zhiyong, H., Horn Brian, W. (2018). Advances and perspectives on stratigraphic trap exploration-making the subtle trap obvious. *Search and Discovery, Article 60054*.
4. Sonnenberg, S. A., Meckel, L. (2017). Our current working model for unconventional tight petroleum systems: oil and gas. Article #80589. In: *Annual Convention and Exhibition AAPG 2017*.
5. North, F. K. (1985). *Petroleum geology*. Boston: Allen & Unwin.
6. Levorsen, A. (1967). *Geology of petroleum*. 2nd Edition. San Francisco, CA: W. H. Freeman and Company.
7. Olenin, V. B. (1977). Geological zoning of oil fields based on genetic approach. Moscow: Nedra.
8. Ratner, V. Ya., Bulatov, N. N., Zubova, M. A., Polster, L. A. (1982). Oil and gas deposits in traps of non-anticlinal type. Moscow: Nedra.
9. Gromeka, V. I., Aleksin, A. G., Andreev, V. N. i dr. (1994). Sostoyanie poiskov i razvedki zalezhej nefiti i gaza v lovushkah netradicionnogo tipa. *Geologiya nefiti i gaza*, 6, 43–47.
10. Oknova, N. S. (2012). Nonanticlinal traps - examples from Volga-Ural and Western Siberia oil-and-gas provinces. *Petroleum Geology - Theoretical and Applied Studies*, 7(1).
11. Larochkina, I. A. (2009). Metodicheskoe posobie «Geonotipy lovushek, ih znachenie i prognozirovanie na etape vysokoy opoiskovannosti neдр Tatarstana» po kursu «Regional'naya geofizika». Kazan': KGU.
12. Polyakov, A. A., Koloskov, V. N., Fonchikova, M. N. (2015). On the classification of petroleum accumulations. *Petroleum Geology - Theoretical and Applied Studies*, 10(1).
13. Varlamov, A. I., Shimansky, V. V., Taninskaya, N. V., et al. (2019). Search and prospects of discovery of non-structural hydrocarbon traps in major petroleum provinces of Russia. *Oil and Gas Geology*, 3, 9–22.
14. Shimansky, V. V., Taninskaya, N. V., Raevskaya, E. G. (2019). Identification of combination traps in Jurassic and Lower Cretaceous series of Western Siberia based on paleogeography reconstructions. *Oil and Gas Geology*, 3, 39–46.

15. Punanova, S. A. (2020, sentyabr'). O nekotorykh prioritnykh napravleniyah razvitiya neftegazovogo kompleksa. Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «O novej paradigme razvitiya neftegazovoy geologii». Kazan', Ihlas.

16. Punanova, S. A. (2020). Forecasting non-anticlinal traps and assessing the quality of hydrocarbon accumulations in them is a priority direction in the development of the oil and gas complex. *Exposition Oil Gas*, 6, 20–24.

17. Punanova, S. A. (2020). The relevance of mapping non-anticlinal traps and features of their classifications. *Actual Problems of Oil and Gas*, 3(30), 13–25.

18. Kontorovich, A. E. (1976). Geochemical methods of quantitative prediction of the oil and gas potential. Moscow: Nedra.

19. Dakhnova, M. V. (2007). Application of geochemical investigations for exploration, prospecting and development of hydrocarbons fields. *Oil and Gas Geology*, 2, 81–89.

20. Prishchepa, O. M., Aver'yanova, O. Yu. (2014). The notion base and the paramount objects of unconventional raw hydrocarbons supply. *Electronic journal «Georesources, geoenergetics, geopolitics»*, 2(10).

21. Pearson, K. (2012). Geologic models and evaluation of undiscovered conventional and continuous oil and gas resources – upper cretaceous Austin Chalk, U.S. Gulf Coast U.S. Virginia: Geological Survey, Reston.

22. Prishchepa, O. M., Aver'yanova, O. Yu., Vysotskiy, V. I., Morariu, D. (2013). Bakken formation: geology, development history and petroleum potential. *Petroleum Geology. Theoretical and Applied Studies*, 2, 1–11.

23. Pollastro, R. M., Roberts, L. N. R., Cook, T. A., Lewan, M. D. (2008) Assessment of undiscovered technically recoverable oil and gas resources of the Bakken Formation, Williston Basin, Montana and North Dakota. U.S.: Geological Survey Open-File Report.

24. Ulmishek, G. F., Shalomayenko, A. V., Holton, J. E., Dakhnova, M. V. (2017). Unconventional oil reservoirs in the domanic formation of the Orenburg region. *Oil and Gas Geology*, 5, 57–67.

25. Skvortsov, M. B., Dakhnova, M. V., Mozhegova, S. V., et al. (2017). Geochemical methods for prediction and assessment of shale oil resources (case study of the bazhenov formation). *Russian Geology and Geophysics*, 58(3-4), 403–409.

26. Soboleva, E. N. (2020). The structural features and oil potential of domanic sediments within Mukhanovo-Erokhovskiy downfold. *Bulletin of Perm University. Geology*, 19(2), 183–188.

27. Ostroukhov, S. B., Pronin, N. V., Plotnikova, I. N., Khairtdinov, R. K. (2020). A new method of "geochemical logging" for studying domanic deposits. *Georesursy*, 22(3), 28–37.

28. Kontorovich, A. E., Burshtein, L. M., Kazanenko, V. A., (2014). The bazhenov suite is the main reserve of unconventional oil in Russia. *Electronic journal «Georesources, geoenergetics, geopolitics»*, 2(10).

29. Kontorovich, A. E., Kostyreva, E. A., Rodyakin, S. V., et al. (2018). Geochemistry of the bazhenov formation bitumoids. *Oil and Gas Geology*, 2, 9–88.

30. Yusupova, I. F. (2019). The effect of organic matter of a shale formation on its features. *Actual Problems of Oil and Gas*, 3(26), 1–4.

31. Abukova, L. A., Abramova, O. P., Yusupova, I. F. (2014). Role of the organic matter of a shale layer in the formation of its permeability at the early catagenic stage. *Solid Fuel Chemistry*, 48(2), 92–97.

32. Gafurova, D. R., Korost, D. V., Kozlova, E. V., et al. Pore space change of various lithotypes of the kerogen domanic rocks at different heating rates. *Georesursy*, 19(3), 255–263.

33. Kalmykov, A. G., Karpov, Yu. A., Topchiy, M. S., et al. (2019). The effect of catagenetic maturity on the formation of reservoirs with organic porosity in the bazhenov formation and peculiarities of their extension. *Georesursy*, 21(2), 159–171.

34. Borodkin, V. N., Kurchikov, A. R., Markin, M. A., et al. (2020). To the issue of collectors zones allocation in the deposits of the bazhenov suite of the Western Siberia. *Geology, Geophysics and Development of Oil and Gas Fields*, 4, 4–13.

35. Chahmahchev, V. A., Punanova, S. A. (1992). K probleme diagnostiki neftematerinskih svit na primere bazhenovskih otlozhenij Zapadnoj Sibiri. *Geohimiya*, 1, 99–109.

36. Schuster, V. L., Punanova, S. A. (2018). Oil and gas potential of the deep-lying jurassic and pre-jurassic deposits of the north of Western Siberia in unconventional traps, *Georesursy*, 20(2), 67–80.

37. Punanova, S. A. (2020, sentyabr'). Geohimicheskaya detalizaciya geneticheskikh osobennostej organicheskogo veshchestva bazhenovskoy svity. Materialy VIII Vserossijskogo soveshchaniya s mezhdunarodnym uchastiem «Yurskaya sistema Rossii: problemy stratigrafii i paleogeografii». Syktyvkar: IG Komi NC UrO RAN.

38. Punanova, S. (2019, September). Oil source deposits in the Bazhenov formation of Western Siberia. In: 29-th International Meeting on Organic Geochemistry (IMOG), Gothenburg, Sweden, EAGE-IMOG.

39. Abarghani, A., Gentzis, T., Bo Liu, et al. (2020). Preliminary investigation of the effects of thermal maturity on redox-sensitive trace metal concentration in the Bakken Source Rock, North Dakota, USA. *ACS Omega*, 5(13), 7135–7148

О классификационном разнообразии ловушек нефти и газа и геохимических критериях продуктивности сланцевых формаций

С.А. Пуанова

Институт проблем нефти и газа
Российской академии наук, Москва, Россия

Реферат

В статье на основании аналитических исследований и критического анализа литературных источников рассматриваются классификационные атрибуты неантиклинальных ловушек. Некоторый избыток классификационных определений и характеристик ловушек, используемый исследователями как для описания универсальных схем, так и для конкретных нефтегазоносных бассейнов, и их частое разночтение обоснованно приводят в конечном итоге к укрупнению типов и подтипов ловушек, объединению их в три основные класса скоплений: непрерывные и квазинепрерывные (нетрадиционные) и прерывистые (традиционные). Отмечается, что в комплексе с геофизическими, сейсмостратиграфическими, палеогеографическими, палеотектоническими, гидрогеологическими и другими методами изучения генезиса и морфологии ловушек и их опосредования, в настоящее время широко внедряются и геохимические методы прогноза и поиска углеводородных скоплений на всех этапах поисково-разведочных работ. Показаны практические возможности геохимических методов для оценки эффективной продуктивности тонких ловушек углеродсодержащих формаций на примере баженовских и доманиковых отложений России, а также сланцевых плеев формации Баккен, Игл и других на территории США.

Ключевые слова: неантиклинальные ловушки; тонкие ловушки; резервуары; нефть и газ; классификация ловушек; углеродсодержащие формации; геохимические исследования.

Neft və qaz təhlələrinin təsnifat müxtəlifliyi və şist formasiyalarının məhsuldarlığının geokimyəvi meyarları haqqında

S.A. Punanova

Rusiya Elmlər Akademiyasının
Neft və Qaz Problemləri İnstitutu, Moskva, Rusiya

Xülasə

Məqalədə analitik tədqiqatlar və ədəbiyyat mənbələrinin tənqidi təhlili əsasında qeyri-antiklinal təhlələr təsnifat atributları nəzərdən keçirilmişdir. İstər universal sxemlərin təsviri, istərsə də konkret neft-qaz hövzələri üçün tədqiqatçılar tərəfindən istifadə olunan təhlələrin təsnifat təriflərinin və xarakteristikalarının həddindən artıq olması və çox vaxt müxtəlif variantlarda olması son nəticədə təhlələrin tiplərinin və yarım tiplərinin genişlənməsinə, üç əsas sinifdə birləşməsinə gətirib çıxarır: fasiləsiz və kvazifasiləsiz (qeyri-ənənəvi) və fasiləli (ənənəvi). Qeyd edilmişdir ki, təhlələrin genezis və morfologiyasının və onların axtarışının geofiziki, seysmostratigrafik, paleoqeoqrafik, paleotektonik, hidrogeoloji və digər üsullarla kompleks şəkildə öyrənilməsinə hal-hazırda axtarış-kəşfiyyat işlərinin bütün mərhələlərində karbohidrogen yığımlarının geokimyəvi üsullarla da proqnozlaşdırılması və axtarışı geniş tətbiq olunur. Karbon tərkibli formasiyaların nazik təhlələrinin effektiv məhsuldarlığının qiymətləndirilməsi üçün geokimyəvi üsulların praktiki imkanları Rusiyanın Bajenov və Domanik yataqlarının, habelə ABŞ-da Bakken, Eagle və digər şist yataqlarının nümunəsində göstərilmişdir.

Açar sözlər: qeyri-antiklinal təhlələr; nazik təhlələr; rezervuarlar; neft və qaz; təhlələrin təsnifatı; karbon tərkibli formasiyalar; geokimyəvi tədqiqatlar.