



Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Федеральный исследовательский центр
«Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук»
обособленное подразделение
Институт проблем нефти и газа Сибирского отделения
Российской академии наук (ИПНГ СО РАН)

677980, Республика Саха (Якутия),
г. Якутск, ул. Петровского, д.2

тел.: (4112) 390620, 390623,
факс (4112)390620,
e-mail: ipog@ipng.ysn.ru

УТВЕРЖДАЮ

Директор Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук» обособленное подразделение Институт проблем нефти и газа Сибирского отделения Российской академии наук (ИПНГ СО РАН)

М.Д. Соколова

« 01 » августа 2022года

ОТЗЫВ

ведущей организации Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук» обособленное подразделение Институт проблем нефти и газа Сибирского отделения российской академии наук (ИПНГ СО РАН) на диссертационную работу Долженко Кирилла Васильевича «Изменение состава террагенного органического вещества в мезо- и апокатагенезе (на примере сверхглубокой скважины Средневиллойская-27)», представленную на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.09 – «Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых»

Диссертационная работа Долженко К.В. посвящена изучению особенностей эволюции террагенного органического вещества в процессе катагенеза на грациях середины-конца мезо- и апокатагенеза. В качестве объекта исследования выступили песчано-алеврито-глинистые субугленосные и угленосные породы перми и верхнего карбона, содержащие в повышенных и высоких концентрациях захороненное органическое вещество высшей наземной растительности. Фактической основой работы выступила коллекция пород из керна сверхглубокой скважины Средневиллойская №27 в интервале 3370-6458 м. Соискатель рассматривает данный объект, как эталон разреза практически однородной по мацеральному составу угленосной толщи верхнекарбонново-пермских пород, которая позволяет проследить последовательные катагенетические превращения террагенного ОВ на протяжении более чем 3-х километрового разреза. Детальное изучение

такого уникального объекта комплексом современных геохимических методов обозначено автором как ключевой аспект научной новизны работы.

Актуальность темы диссертации заключается в дальнейшем развитии теории преобразований органического вещества и нефтидов глубокопогруженных пород и совершенствовании методик прогноза и поиска УВ-скоплений на больших глубинах в осадочных бассейнах в жестких термобарических условиях.

Целью исследования соискатель ставит перед собой выявление закономерностей превращений террагенного органического вещества в среднем, позднем мезо- (МК₂-МК₃) и апокатагенезе (АК) в жестких термобарических условиях и совершенствование теоретических основ прогноза нефтегазоносности глубоко погруженных осадочных комплексов. В соответствии с поставленной целью диссертационная работа преследует следующую научную задачу: используя широкий спектр современных физико-химических методов изучения органического вещества осадочных пород, экспериментально установить основные закономерности превращений террагенного органического вещества и его битумоидов при погружении на большие глубины с жесткими термобарическими условиями, и построить на этой основе принципиальную модель эволюции состава террагенного органического вещества в мезо- и апокатагенезе.

Теоретическая значимость работы заключается в получении новых знаний, дополняющих современную осадочно-миграционную теорию нефтидогенеза об изменениях террагенного органического вещества в области больших глубин под действием жестких термобарических факторов. **Практическая значимость** состоит в получении обширной характеристики, включающей одномерное математическое моделирование процессов генерации главной газопроизводящей формации – угленосного комплекса пермского возраста, на территории исследования (Виллойская гемисинеклиза, Восточная Сибирь). Оба аспекта раскрыты в работе в полной мере.

Основное содержание работы. Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав и заключения. Общий объем работы 209 страниц, включая 55 рисунков, 20 таблиц, 2 приложения. Список литературы включает 178 наименований.

В *первой главе* автор приводит обзор развития и современного состояния осадочно-миграционной теории происхождения нефти и газа в общем и её направления, посвященного изучению террагенного органического вещества, в частности. В этой же главе рассмотрены наиболее значимые результаты по изучению геохимических особенностей верхнепалеозойского комплекса Виллойской гемисинеклизы, в том числе по материалам скв. Средневиллойская-27. Соискатель хорошо знаком с отечественной и зарубежной литературой по изучаемому вопросу.

Во *второй главе* дано описание фактического материала, программного обеспечения, материально-аналитической базы комплекса методов, использованных в работе, где автор продемонстрировал знание широкого круга современных аналитических методов и их возможностей при исследовании ископаемого органического вещества пород.

В *третьей главе* соискателем приведены данные, характеризующие степень геологической изученности исследуемой территории, история формирования осадочного бассейна, его нефтегазоносность и литологический состав верхнепалеозойского комплекса. Здесь же представлена подробная литологическая колонка на основании интерпретации автором данных ГИС и литературных источников.

Четвертая глава является основной в работе и содержит результаты собственных исследований соискателя. Первые два раздела главы посвящены изучению характеристик органического вещества в разрезе скважины Средневиллойская-27 от общего к частному:

последовательно рассматриваются катагенез, генерационный потенциал, содержания органического углерода, выход хлороформенного битумоида, его групповой состав и, наконец, его молекулярные характеристики. Автор сопровождает описание полученных результатов соответствующей графикой, которая иллюстрирует заявленную в рамках научной задачи модель эволюции террагенного органического вещества. Третий раздел главы посвящен применению полученных геохимических данных для восстановления истории нефтидогенеза в разрезе скважины и отражает прикладную значимость работы. Графическое наполнение главы не вызывает вопросов и выполнено на должном уровне.

На основании полученных результатов автором сформированы следующие защищаемые положения:

1. На природной коллекции образцов пород, содержащих террагенное органическое вещество, установлена схема изменения группового и углеводородного состава битумоидов и пиролитических характеристик керогена в позднем мезо- и апокатагенезе. Подтверждено отсутствие в битумоидах зоны апокатагенеза асфальтенов, возрастание по мере катагенетических преобразований органического вещества относительной массы низкомолекулярных и убывание массы высокомолекулярных алифатических и циклоалифатических углеводородов, в составе ароматических углеводородов возрастает концентрация *n*-алкил-бензолов, моно- и триароматических стероидов и снижается относительная концентрация фенантронов.

2. На нативной коллекции образцов подтверждено формирование керогена в апокатагенезе за счет конденсации асфальтенов (эпиасфальтеновый кероген – ЭПАК) и впервые показано, что первоначально по пиролитической характеристике (T_{max}) он отвечает незрелому органическому веществу.

3. Показано, что классические биомаркерные показатели катагенеза органического вещества (стерановые коэффициенты K_1 и K_2 , T_s/T_m) возрастают только до конца градации MK_2 ($R_{vt}^0 - 1,15\%$). Показатели, характеризующие тип исходного органического вещества (отношение стеранов C_{29}/C_{27} , I_{TC}) и обстановки диагенеза (Pr/Ph , Re_{ar}/Re_{g}), теряют диагностическую роль на градации MK_3^1 ($R_{vt}^0 - 1,55\%$). Для более высоких градаций катагенеза предложено использовать метилфенантроновые показатели зрелости $(2-MP + 3-MP)/(1-MP + 9-MP)$ [Петров, 1984] и $1-MP/(2-MP + 3-MP)$ [Alexander et al., 1986], для которых найдены регрессионные зависимости расчета значений R_{vt}^0 .

Степень достоверности научных результатов обусловлена уникальностью коллекции образцов керна, применением широкого спектра современных методов исследования органического вещества, постоянным внутренним и внешним контролем полученных результатов. Здесь следует особо отметить, что достоверность геохимических результатов с самого начала предопределена «уникальностью коллекции образцов: как отбором керна из угленосной и субугленосной терригенной толщи, представленной достаточно однородным террагенным органическим веществом, так и, что очень важно, точной привязкой образцов к градациям шкалы катагенеза по отражательной способности витринита и данным пиролиза. С этих позиций полученные результаты не просто достоверны, но и очень ценны. Соискатель хорошо знаком с отечественной и зарубежной литературой по изучаемому вопросу и возможностями широкого круга современных аналитических методов исследования ископаемого ОВ пород, также им получен и проанализирован большой объем фактического материала. Это позволяет сделать вывод о том, что научные положения и выводы достаточно достоверны и обоснованы.

Научная новизна работы.

Соискателем впервые:

– выполнены детальные геохимические исследования по изучению катагенетических превращений террагенного органического вещества на протяжении уникального, более чем 3-х километрового разреза практически однородной по мацеральному составу угленосной толщи верхнекарбонново-пермских пород;

– получены новые ценные данные, позволяющие детализировать картину протекания процессов деструкции органического вещества на уровне изучения керогена, битумоидов, их группового состава, поведения биомаркеров, их информативности в малоизученном диапазоне шкалы катагенеза – среднем-позднем мезокатагенезе и апокатагенезе после прохождения органическим веществом главной фазы нефтеобразования;

– выделены 4 зоны глубинной зональности катагенеза по углепетрографическим и пиролизическим показателям: 1) зона интенсивных процессов новообразования углеводородных флюидов (середина-конец градации МК₂); 2) зона постепенного перехода продуктов новообразования к преобладанию лёгких УВ (градации МК₃¹, МК₃²); 3) зона остаточной генерации сухого газа (градации АК₁, АК₂); 4) зона высокотемпературной деструкции с остаточным образованием метана. Для каждой выделенной зоны дан анализ изменения группового и молекулярного составов битумоида под действием термобарических факторов;

– показано, что кероген, образовавшийся в апокатагенезе за счёт конденсации асфальтенов (эпиасфальтеновый кероген – ЭПАК), по пиролизической характеристике (Тmax) отвечает незрелому органическому веществу;

– восстановлена история погружения осадочного комплекса и генерации УВ верхнепалеозойскими материнскими толщами посредством одномерного математического моделирования по полученным пиролизическим, геохимическим и углепетрографическим данным.

Апробация работы и публикации. Полученные автором результаты изложены в 16 публикациях, в том числе в 5 статьях в журналах («Доклады академии наук», «Геология и геофизика», «Геохимия», «Георесурсы») из перечня рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК при Минобрнауки. Основные результаты, представленные в работе, были доложены автором на 11 всероссийских и международных конференциях в виде устных докладов и постеров.

Автореферат соответствует основному содержанию и выводам диссертации и отвечает требованиям Положения о порядке присуждения учёных степеней.

Замечания:

Диссертация К.В. Долженко основана на значительном объёме аналитических исследований, полученных ценных геохимических результатах в малоизученной области превращения органического вещества в жестких термобарических условиях, выводы обоснованы и имеют научное и практическое значение.

Вместе с тем по изложению фактического материала и формулировке выводов представленная работа вызывает ряд замечаний и комментариев:

– текст диссертации и автореферата стилистически сложен и изобилует подчиненными конструкциями, что приводит к необходимости неоднократного прочтения для понимания сути;

– в представленных выводах автор концентрирует основное внимание на эмпирических данных и аналитических методах их получения и в меньшей степени – на

интерпретации процессов и факторов их вызывающих, которые стоят за наблюдаемыми явлениями и изложены в тексте диссертации.

Замечания по защищаемым положениям сводятся к следующему:

– первое и третье защищаемые положения отражают суть полученных результатов, но выглядят достаточно громоздкими, их следовало бы представить более сжато и конкретизировано;

– второе защищаемое положение о природе эписфальтенового керогена – ЭПАК содержит дискуссионные моменты, которые требуют дальнейших исследований по изучению нерастворимой части органического вещества.

Заключение по диссертационной работе. Несмотря на сделанные замечания, степень достоверности полученных результатов, их практическая и теоретическая значимость не вызывают сомнений. Дискуссионные же вопросы относятся скорее к разряду дальнейшего развития тематики, чем к действительным недостаткам работы.

Диссертационная работа Долженко Кирилла Васильевича «Изменение состава террагенного органического вещества в мезо- и апокатагенезе (на примере сверхглубокой скважины Средневилуйская-27)» является актуальной работой по развитию фундаментальных представлений о превращениях террагенного органического вещества в процессе катагенеза и обладает практической значимостью для прогноза и поиска скоплений газа и газоконденсата на территории исследования.

Диссертация соответствует критериям, установленным п.9 Положения о присуждении учёных степеней (утверждено постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. N2842) для учёной степени кандидата наук, а её автор К.В. Долженко достоин присуждения учёной степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.09 «Геохимия и геохимические методы поиска полезных ископаемых».

АВТОРЫ ОТЗЫВА:

Ведущий научный сотрудник
Лаборатории геохимии каустобиолитов
ФГБУН Федерального исследовательского
центра «Якутский научный центр Сибирского
отделения российской академии наук»
обособленного подразделения ИПНГ СО РАН,
кандидат геолого-минералогических наук
Раб. Тел: (4112) 390620; E-mail: inzu@ipng.ysn.ru

Зуева Ираида Николаевна

Ведущий научный сотрудник
Лаборатории геохимии каустобиолитов
ФГБУН Федерального исследовательского
центра «Якутский научный центр Сибирского
отделения российской академии наук»
обособленного подразделения ИПНГ СО РАН,
кандидат геолого-минералогических наук
Раб. Тел: (4112) 390620; E-mail: oncha@ipng.ysn.ru

Чалая Ольга Николаевна

Диссертация и отзыв рассмотрены и обсуждены на общем заседании лаборатории геохимии каустобиолитов и лаборатории геологии нефти и газа, одно из основных направлений научно-исследовательской деятельности которых – геология и геохимия нефти и газа, 26 июля 2022 г., протокол № 1, отзыв одобрен в качестве официального отзыва ведущей организации.

Отзыв утвержден на заседании ученого совета ФГБУН «ИПНГ СО РАН», протокол №10 от 27 июля 2022 года.

Учёный секретарь,
ФГБУН Федерального исследовательского
центра «Якутский научный центр Сибирского
отделения российской академии наук»
обособленного подразделения ИПНГ СО РАН,
кандидат технических наук

Будугаева Валентина Афанасьевна

Председателю диссертационного совета
Д 003.068.02

доктору г.-м. наук, академику

Конторовичу А.Э.

Я, Чалая Ольга Николаевна, подтверждаю своё согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, их дальнейшую обработку и передачу в соответствии с требованиями Минобрнауки

1 августа 2022

дата

**подпись*

Председателю диссертационного совета

Д 003.068.02

доктору г.-м. наук, академику

Конторовичу А.Э.

Я, Зуева Ираида Николаевна, подтверждаю своё согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, их дальнейшую обработку и передачу в соответствии с требованиями Минобрнауки

1 августа 2022

дата

**подпись*