

ОТЗЫВ

На диссертационную работу Долженко К. В. « **ИЗМЕНЕНИЯ СОСТАВА ТЕРРАГЕННОГО ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В МЕЗО - И АПОКАТАГЕНЕЗЕ (НА ПРИМЕРЕ СВЕРХГЛУБОКОЙ СКВАЖИНЫ СРЕДНЕВИЛЮЙСКАЯ- 27)**» на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.09 – Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых

Объект проведенных работ представляет собой уникальный для территории Сибирской платформы разрез верхнего палеозоя, вскрытый единственной в регионе сверхглубокой скважиной глубиной свыше 6500 м, пробуренной в центральной части Вилюйской синеклизы.

Актуальность выполненных исследований вполне очевидна. Она заключается в разработке мало изученной научной проблемы, посвященной процессам преобразования органического вещества на больших глубинах с жесткими термобарическими условиями. Актуальным также является вопрос о предельных условиях существования жидких УВ в различных НГБ. Автором показана важная роль в этом аспекте типа органического вещества. Очевидно, что в случае гумусового РОВ для нефтей возможности заметно ограничены. В тоже время можно отметить, что для морских карбонатных отложений с сапропелевым РОВ глубинный диапазон присутствия нефтей существенно шире. Например, даже в венд-кембрийских отложениях Сибирской платформы существование нефтей возможно на глубинах свыше 4 км (Ковинская площадь Ангаро-Ленской НГО). А в Таримском бассейне Китая нефть в кембрийских карбонатных отложениях установлена на глубине свыше 8,2 км.

Практически значимы и важны результаты проведенных исследований. В научном плане можно констатировать достижения, касающиеся выяснения изменений характеристик различных составляющих органического вещества (его нерастворимой части, углеводородного состава битумоидов, изотопии углерода, особенностей поведения информативных биомаркерных показателей) в условиях перехода от завершающих этапов мезокатагенеза до апокатагенеза. В этом отношении полученные результаты имеют фундаментальный характер. Для целей прогностических построений, полученные выводы можно учитывать при оценках газоносности верхнепалеозойских отложений в районах интенсивного катагенеза как на территории Вилюйской синеклизы, так и в центральных частях Лено-Анабарского и Предверхоаянского прогибов. Кроме того, в Восточной Сибири имеются и районы высокого катагенеза угленосных отложений перми, связанного с контактовым влиянием пластовых интрузий долеритов. Это северо-западная часть Сибирской платформы, левобережье Хатангского залива. Вероятно, преобразования ОВ вследствие контактового катагенеза имеют свою специфику, что также требует последующего изучения.

Рассматриваемая работа состоит из Введения, Заключения и 4-х глав. В первой главе представлен исторический обзор развития представлений о стадийности катагенетического преобразования органического вещества. В соответствие с поставленной задачей акцент автором ставится на гумусовый генетический тип органического вещества. В заключительной части этой главы более детально рассмотрены результаты предшествующих исследований мезозойско-верхнепалеозойских отложений Виллюйской синеклизы и собственно разреза сверхглубокой скважины Средневиллюйская - 27. Эта часть диссертации не вызывает замечаний. Автором отражены основные этапы геохимических исследований в регионе, приведены результаты наиболее значимых работ как в целом по региону, так и по основному объекту работ. Освещены основные вопросы, связанные с эволюцией гумусового органического вещества в широком диапазоне градаций катагенеза.

Во второй главе приведены сведения о фактическом материале, использованном в работе, также освещен комплекс аналитических методов изучения органического вещества и битумоидов верхнепалеозойских отложений сверхглубокой скважины Средневиллюйская – 27. Можно констатировать удачное выполнение этого раздела. Автором даются физико-химические принципы используемых методов, информативность оцениваемых показателей и их применение в целях прогнозных геохимических построений.

Третья глава крупная по объему. Она посвящена геологическому строению и нефтегазоносности территории Хапчагайского мегавала. Большой объем этого раздела оправдан, поскольку особенности геологического строения, условия нефтегазоносности служат основой для последующих геохимических исследований. Этот раздел начинается исторический обзор по истории геологоразведочных работ на территории Виллюйской гемисинеклизы. Далее дается краткое описание осадочных комплексов, слагающих ее осадочный чехол. Детально рассмотрена нижняя часть разреза скважины Средневиллюйская – 27. При описании отложений пермского и каменноугольного возраста автором, кроме компилятивных материалов предшествующих исследователей широко использованы данные собственной интерпретации материалов ГИС. Особенно это касается уточнений по выделению прослоев углей и глинистых пород, а также границ различных литологических пачек в составе выделенных ранее толщ. В главе также кратко рассмотрены основные этапы истории формирования Виллюйской гемисинеклизы. В заключительной части главы дан обзор нефтегазоносности региона. Основное внимание уделено многопластовому Средневиллюйскому газоконденсатному месторождению. По третьей главе, которая представляет собой добротную сводку имеющихся на настоящий момент геологических данных можно отметить следующее. Автором принята геологическая модель региона, согласно которой девонские отложения ограничены северо-западным склоном Виллюйской синеклизы и отсутствуют в ее центральной части. По нашему мнению, девонские отложения, скорее всего, присутствуют и на южном склоне этой структуры.

Глава четвертая главная в работе, как по объему, так и по содержанию. Она посвящена основным результатам комплексных геохимических исследований верхнепалеозойских отложений, претерпевших катагенетические изменения на уровне градаций позднего мезокатагенеза и апокатагенеза. На первом этапе автором на основе

обширных углепетрографических данных выполнено уточнение катагенетической зональности РОВ пермско-каменноугольных отложений скважины Средневиллюйская – 27. Проведено разделение разреза на зоны различного типа генерации УВ. От зоны генерации жидких УВ до зоны генерации сухого газа, в диапазоне градаций МК₂ – АК₃. Подтверждено предполагаемое ранее смещение преобразованности разреза сверхглубокой скважины относительно смежных площадей. Автором в скважине Средневиллюйская – 27 это установлено в пограничной зоне харыйасской и хомустанской свит верхней перми. Такое явление, вероятно, связано с присутствием вблизи скважины интрузии триасового возраста. Надо отметить, что оно не единично на территории Виллюйской синеклизы. По углепетрографическим данным «скачок» уровня катагенеза известен также на Чыбыдинской площади.

Далее выполнено сопоставление углепетрографических и пиролитических данных. Предложена ориентировочная шкала параметра T_{max} относительно отражательной способности витринита. Это позволяет более корректно использовать пиролитические данные для оценок катагенеза в изучаемом разрезе. Наиболее интересным моментом при пиролитических исследованиях можно считать факт установленного перехода асфальтеновых компонентов в нерастворимое состояние на заключительных градациях катагенеза. Явление снижения концентраций асфальтенов, вплоть до их исчезновения, фиксировалось и ранее. Например, при изучении рифейских отложений складчатого обрамления Сибирской платформы (районов интенсивного катагенеза РОВ). Это явление объясняли метаморфическим переходом асфальтенов в кероген. Вероятно, образование таких керогенов представляет собой универсальный процесс для любого типа РОВ в условиях интенсивного катагенеза. Установлено, что образование эпиасфальтеновых керогенов (ЭПАК) характерно для пород песчаной и алевроитовой размерности, что связано с большей вероятностью изначального присутствия в них аллохтонных битумов.

На основании полученных данных по распределению концентраций РОВ в составе верхнепалеозойских толщ можно сделать вывод о том, что в разрезе скважины Средневиллюйская-27 верхнепалеозойские отложения по своей обогащенности органическим веществом не уступают разрезам других частей Виллюйской гемисинеклизы, несмотря на очевидные потери в результате интенсивного катагенеза.

Весьма интересные материалы получены по вариациям изотопного состава углерода РОВ. Как и следовало ожидать, значения величины $\delta^{13}\text{C}$ соответствует параметрам органического вещества континентального происхождения. Вместе с тем, для основной части изученной коллекции (без образцов ЭПАК) наблюдается тенденция облегчения изотопного состава углерода с усилением катагенеза, (Рис 23). Это противоречит мнению об утяжелении изотопного состава с ростом интенсивности катагенеза. Хотя, например, по данным изотопии углерода РОВ высокопреобразованных рифей-вендских отложений Патомского нагорья именно такая картина и наблюдается. Вместе с тем для образцов ЭПАК, судя по данным на рисунке 25, зафиксирован утяжеленный изотопный состав углерода.

На основе установленной катагенетической зональности РОВ верхнепалеозойских отложений автором далее детально прослежены изменения группового состава

битумоидов. Установлено, что на глубинах градации МК₂, групповой состав пород еще отвечает континентальному РОВ. Далее, к концу градации, процессы деструкции уже проявляются, что выражается в смещении максимума в распределении n-алканов в направлении более короткоцепочечных соединений, снижается величина отношения Pr/Ph, в алкилбензолах также снижается доля соединений с более чем 22 атомами углерода. При достижении градации апокатагенеза фиксируется увеличение относительной концентрации смол, в составе УВ резко возрастает доля насыщенных соединений. Заметно сокращается содержание n-алканов с более чем 22 атомами углерода. Наблюдается заметное преобладание фитана над пристаном. Таким образом, характеристики изучаемого РОВ приобретают черты сходства с сапропелевым органическим веществом. Эти процессы связаны с деструкцией асфальтенов и, вероятно, конденсацией ароматических соединений с переходом их в состав смол. Интерес представляет собой появление гомологических рядов алкенов, диметилалканов, моноароматических стероидов. По-сути, эти соединения могут служить индикаторами жесткого катагенеза при геохимических исследованиях, прогнозе состава УВ флюидов.

Далее показано, что указанные изменения состава битумоидов находят проявления и на биомаркерных показателях, характеризующих индивидуальные алифатические и изоалифатические УВ. В целом анализ биомаркерных показателей свидетельствует о их применимости и соответствии другим методам определения типа РОВ и степени его катагенеза в диапазоне условий до проявления ГЗН включительно. Это позволяет использовать биомаркерные показатели для большей части известных нефтей на территории Вилуйской НГО. Далее, для образцов нижележащих толщ мохсоголохской серии, претерпевших градации апокатагенеза, биомаркерные показатели теряют свою информативность, приобретая свойства известные у аквагенного или сапропелевого РОВ. Это обстоятельство необходимо учитывать при оценках палеоочагов нефтегазообразования и при бассейновом моделировании.

При анализе поведения ароматических УВ большое внимание уделено фенантреновым индексам, сопоставлению их с отражательной способностью витринита. Были выполнены модельные построения, при которых проведено сравнение расчетных определений отражательной способности на основе фенантреновых индексов с фактическими замерами. Это сравнение показало хорошую сходимость и, соответственно, достоверность расчетных значений. Таким образом, подтверждается на примере изученного разреза возможность применения фенантреновых индексов при геохимических исследованиях, даже на больших глубинах. Исключение составляет переходный уровень градаций МК₃² – АК, то-есть указываются границы применимости метода.

Автором на примере скважины Средневилуйская – 27 подтверждено появление окклюдированных асфальтенами новых УВ компонентов. В 70-е годы такое явление было установлено в СНИИГГИМСе А.Э. Конторовичем, В.М. Диндойн и позднее в ИНГГ СО РАН подтверждено В.А. Каширцевым. В рассматриваемой диссертации подтверждены температурные условия выхода окклюдированных соединений при достижении апокатагенеза или выхода асфальтеновых компонентов из группового состава битумоидов. С использованием одномерного бассейнового моделирования установлено, что выход моноароматических стероидов осуществляется при достижении рубежа в

200⁰С. На основании данных В.А. Каширцева установлено, что поглощение УВ асфальтенами происходит при температуре около 90⁰С.

При проведении одномерного бассейнового моделирования автором корректно приняты показатели плотности теплового потока, соотношения песчаной и глинистой составляющих разрезов, оценены временные рубежи вхождения материнских пород в зоны катагенеза и их продолжительность. Дана результирующая оценка интенсивностей генерации УВ различного состава для трех свит хапчагайской серии. Максимально оценены материнские породы хомустанской свиты, имеющей большую толщину таких пород и большие концентрации РОВ. Можно констатировать, что с учетом уникального комплекса использованных автором для расчета данных выполненная оценка вполне корректна и достоверна. Вместе с тем надо отметить, что можно было дать оценку и нижележащим толщам мохсоголохской серии. Естественно, что установленные пиролитические показатели этой части верхнего палеозоя крайне низки. Но, как показывают аналитические данные, остаточные концентрации органического углерода в этих отложениях вполне сопоставимы с таковыми для пород хапчагайской серии, несмотря на полное истощение их потенциала. Вполне вероятно, что угленосные отложения мохсоголохской серии могли внести свой вклад в ресурсную составляющую Хапчагайского газоносного района.

Подводя итоги, можно констатировать следующее. Рассматриваемая диссертация представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, содержащую решение поставленной задачи. Автором использован обширный спектр традиционных и современных методов исследования, с помощью которых установлены закономерности превращения террагенного органического вещества (керогенов и битумоидов) при глубоком погружении в жестких термобарических условиях. Им создана принципиальная модель катагенетического преобразования РОВ для завершающих градаций катагенеза. Использование этого комплекса методов, а также интерпретация скважинных данных обеспечивают высокую достоверность и обоснованность полученных выводов и результатов.

Решение этой задачи актуально и имеет практическое значение при дальнейших фундаментальных исследованиях, при качественном и количественном прогнозе нефтегазоносности верхнепалеозойских отложений Хапчагайского газоносного района. Область использования полученных результатов значительно шире, учитывая распространение подобных отложений на территории Хатангско-Виллюйской и Лено-Тунгусской нефтегазоносных провинций Сибири. В этой связи нужно добавить несколько слов о перспективах дальнейших работ по теме. Можно согласиться с автором в том, что в этом направлении необходимо сопоставление полученных по скважине Средневиллюйская 27 геохимических показателей с близкими по генезису объектами. Кроме того, по нашему мнению, есть необходимость дополнительного изучения угленосных верхнепалеозойских отложений Сибирской платформы в районах также интенсивного катагенеза, вызванного наложением динамокатагенеза или контактового влияния интрузий. Как нами отмечалось выше, подобные районы широко распространены в регионе. В этом случае спектр объектов для сопоставления по возрасту литологии и типам РОВ будет существенно шире. В этом направлении есть возможности выявления универсальных процессов и закономерностей, которые будут

дополнять фундаментальные исследования, а также будут востребованы для выполнения прогнозных построений.

Рассматриваемая диссертация подготовлена автором самостоятельно, рукопись хорошо организована. Содержание реферата соответствует самой работе. Нужно отметить ряд новых научных результатов и выводов. Это, во-первых, уточнение катагенетической зональности РОВ верхнепалеозойских отложений и выделение глубинных зон генерации различных по фазовому состоянию УВ. Это разработка ориентировочной шкалы катагенеза на основе сопоставления данных классической углепетрографии и пиролитического параметра T_{max} . Подтверждены выявленные ранее на завершающих этапах катагенеза изменения группового состава битумоидов, а также индивидуальных УВ-х соединений различных гомологических рядов. Автором показаны глубинные границы информативности традиционных биомаркерных показателей генезиса, типов РОВ, уровня созревания. Полученные результаты необходимо учитывать при оценках палеочагов нефтегазообразования, бассейновом моделировании. Весьма важные данные получены при изучении характера поведения ароматических соединений. При проведении сравнения расчетных определений отражательной способности на основе фенантеновых индексов с фактическими замерами установлена хорошая сходимость и, соответственно, достоверность расчетных значений. Это дает возможность применения фенантеновых индексов при геохимических исследованиях, даже на больших глубинах.

Судя по реферату и библиографическому списку в диссертации, можно констатировать, что основные научные результаты и выводы, полученные автором, опубликованы в ряде печатных работ. Из них в рецензируемых изданиях присутствует достаточное количество - 5 из общего списка в 16 работ. Можно также отметить хорошее качество оформления диссертации и иллюстраций.

Из вышеизложенного вытекает, что соискатель является специалистом, имеющим всесторонние знания об объекте исследования и владеет современными методами изучения таких объектов. По нашему мнению подготовленная Долженко К.В. диссертация отвечает критериям, установленным **Положением** о присуждении ученых степеней. Автор заслуживает искомой степени.

Соболев Петр Николаевич, 630084, г. Новосибирск, Авиастроителей 12, кв. 9.

Тел. 8-913-204-81-86

SobolevPN@rusgeology.ru

630091, г. Новосибирск, Красный пр-т 67. АО Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья. Зав. Лабораторией, кандидат геолого-минералогических наук.

Согласен на включение персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

15.08. 2022 г.

Соболев П.Н.