



УДК [(552.1:552.5):551.72]:(550.837+550.822)(571.5)

ОЦЕНКА КАТАГЕНЕЗА ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ДРЕВНИХ ОТЛОЖЕНИЙ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

Ю. А. Филиппов

Рассмотрены материалы, обосновывающие эталонную шкалу катагенеза ОВ древних отложений западной части Сибирской платформы. Показана возможность оценки формирования катагенетической преобразованности ОВ отложений также на рифейском этапе развития. С учетом новейших сейсмических данных и материалов бурения построены палеотектонические разрезы на два ключевых этапа истории развития: 1) наибольшего погружения отложений в рифее, 2) предвендской пенеplanation территории. Оценены перспективы генерации нефти и газа рифейскими углеродистыми толщами и сохранения формировавшихся залежей.

Ключевые слова: палеоглубинная зональность катагенеза ОВ, шкала катагенеза ОВ, рифейский этап развития, Ангаро-Котуйский прогиб, палеотектонические профили.

THE EVALUATION OF ORGANIC MATTER CATAGENESIS IN THE ANCIENT DEPOSITS OF THE SIBERIAN PLATFORM

Yu. A. Filiptsov

Data, substantiated the standard scale of ancient deposits OM catagenesis in the Eastern Siberian Platform, are considered. The possibility of evaluation of OM catagenetic transformation on the Riphean stage of development is also shown. Taking into account the most recent seismic data and drilling materials paleotectonic sections are constructed, including two milestone stages of development history. They are: 1) maximum submergence of deposits in Riphean, 2) Pre-Vendian territory peneplanation. Prospects for oil and gas generation by Riphean carboniferous strata and maintainance of the formed accumulations are estimated.

Key words: paleodeep zonation of OM catagenesis, scale of OM catagenesis, Riphean stage of development, Angara-Kotui trough, paleotectonic profiles.

При реконструкции истории нефтегазообразования и оценке перспектив нефтегазоносности осадочных бассейнов важнейшей задачей является изучение катагенетической преобразованности органического вещества (ОВ) отложений. Именно катагенетическая зрелость ОВ определяет степень реализации нефтегазоматеринскими толщами генерационного потенциала. Второй важнейший результат изучения катагенеза ОВ, содержащегося в отложениях, – возможность прогноза фазового состава залежей углеводородов (УВ). Общеизвестно, что граница стадий МК₂(Ж) и МК₃¹(К) катагенеза ОВ – раздел, ниже которого (в очагах нефтегазообразования) во всех нефтегазоносных бассейнах мира практически исчезает промышленная нефтеносность в ловушках УВ, а еще ниже по разрезу имеются только газоконденсатные залежи. При этом не следует забывать, что сами по себе породы – коллекторы нефти и газа могут иметь любой состав и возраст; заключенное в них ОВ может иметь любую (даже самую высокую) степень катагенетической преобразованности. Коллекторами могут служить даже гранитоиды кристаллического фундамента, как, например, вскрытые в пределах Юрубчено-Тохомского месторождения Юрубченской скв. 67 и давшие промышленный приток газа при испытании.

Таким образом, важнейшей задачей при выполнении оценки перспектив нефтегазоносности осадочных бассейнов и прогноза фазового состава возможных залежей УВ является выяснение истории погружения именно нефтегазоматеринских толщ – источников нефти и газа, а в более узком смысле – истории формирования катагенетической преобразованности ОВ нефтегазоматеринских отложений.

В истории развития нефтегазоносных бассейнов необходимо по возможности наиболее четко разделять этапы погружения, сопровождающиеся накоплением осадочных толщ, прогрессивным прогревом отложений и возрастанием степени катагенеза ОВ, в них содержащегося, и этапы воздымания, большего или меньшего размыва ранее накопившихся осадков, их охлаждения и «консервирования» степени преобразованности ОВ при максимальном прогреве отложений. Несмотря на значительное усложнение геологического строения (со складко- и разломообразованием), часто сопровождающее воздымание территории и охлаждение геологического разреза, изменения катагенетической преобразованности ОВ отложений (сформировавшейся на стадии наибольшего погружения и прогрева) не происходит.

Наиболее обоснованной представляется точка зрения, согласно которой температурный режим недр в первую очередь зависит от тектонического этапа развития бассейна осадконако-

«Красноярскнедра» (Красноярск)



пления [5]. Л. А. Польстер, Ю. В. Висковский и др. [5] проанализировали зависимость температуры поверхности фундамента от глубины его залегания в разных бассейнах (рис. 1). Максимальный тепловой поток (и геотермические градиенты), по их данным, установлены в бассейнах с разновозрастным основанием и интенсивным осадконакоплением в кайнозойское время. Во вторую группу (с более низким в настоящее время тепловым потоком и геотермическими градиентами) входят бассейны с палеозойским и протерозойским основанием, интенсивным осадконакоплением в мезозойское время и отсутствием интенсивного осадконакопления в кайнозойское, как, например, Западно-Сибирский; в третью – бассейны с протерозойским основанием и отсутствием осадконакопления в послепалеозойское время; в четвертую – с протерозойским основанием и отсутствием осадконакопления с конца раннепалеозойского времени.

Различие в величине теплового потока между бассейнами разных групп связано с уменьшением плотности теплового потока на стабильном этапе развития, когда прекращается интенсивное осадконакопление и, более того, происходит воздымание бассейна с размывом части ранее накопившихся отложений. Это приводит к падению температуры осадочного чехла (выстуживанию) и уменьшению геотермического градиента. Криволинейный характер кривых увеличения температуры поверхности фундамента свидетельствует о некотором изменении геотермического градиента при разной глубине залегания фундамента (вероятно, вследствие его более высокой теплопроводности) даже в бассейнах одной группы (см. рис. 1). Но эти изменения незначительны (в пределах точности наших построений), в отличие от различий градиентов в разных группах бассейнов.

Различия в тепловых потоках и геотермических градиентах (см. рис. 1) свидетельствуют о том, что в период интенсивного осадконакопления, рост температуры поверхности фундамента в бассейнах должен был подчиняться закономерности, отражаемой кривой 1, характерной для бассейнов с интенсивным осадконакоплением. При затухании тектонической активности тепловой поток снижается, и в случае прекращения осадконакопления (и воздымания территории с размывом части отложений) в разрезе «консервируется» катагенетическая зональность, сформировавшаяся на этапе наибольшего погружения региона.

Таким образом, на этапах интенсивного осадконакопления геотермические градиенты и увеличение катагенетической преобразованности ОВ с глубиной должны подчиняться единой закономерности, независимо от времени основного этапа осадконакопления в бассейнах.

До сих пор еще не затихла дискуссия о роли геологического времени в процессах катагенеза

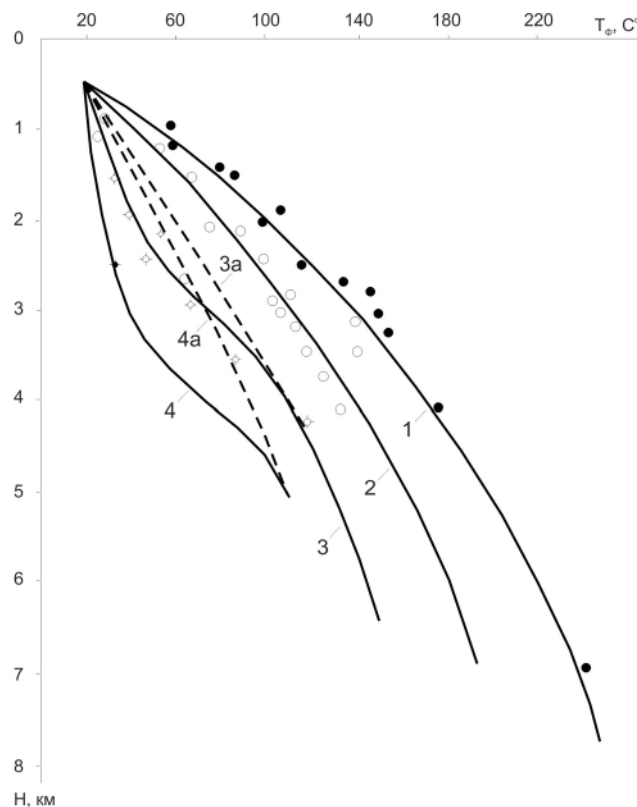


Рис. 1. Зависимость температуры поверхности фундамента (T_{ϕ}) от глубины его залегания (H) по данным [5]

Бассейны: 1 – с разновозрастным основанием и интенсивным осадконакоплением в кайнозойское время; 2 – с палеозойским и протерозойским основанием и отсутствием осадконакопления в кайнозойское время; 3 – с протерозойским основанием и отсутствием осадконакопления в послепалеозойское время, 3a – то же, без влияния гипергенных факторов; 4 – с протерозойским основанием и отсутствием осадконакопления с конца раннепалеозойского времени, 4a – то же, без влияния гипергенных факторов

ОВ. Краткий, но довольно полный обзор существующих мнений приведен, например, в работах [5, 6]. С учетом многочисленных данных о катагенезе ОВ отложений Сибирской платформы на контактах с раннетриасовыми трапповыми интрузиями роль геологического времени следует признать незначительной. Очень наглядно это видно на примере степени катагенеза углей каменноугольно-пермского возраста крупнейшего Тунгусского угольного бассейна: в районах с низкой насыщенностью разреза угленосных отложений трапповыми интрузиями до настоящего времени сохранились угли марки Б – бурогоугольной стадии преобразования [3]. В районах, где угленосные отложения пронизаны мощными пластовыми и секущими интрузиями долеритов, преобразованность углей доходит до стадий К (коксовая) и А (антрацитовая). В исключительных случаях в результате интрузивного прогрева в раннетриасовую эпоху даже происходила графитизация угольных пластов с образованием месторождений графита, как на р. Нижняя Тунгуска (Ногинское месторождение). После кристаллизации и остывания внедрившихся



ся расплавов основной магмы в раннем триасе при отсутствии значительных последующих мезозойско-кайнозойских погружений сохранившиеся бурые угли так и остались бурыми, а антрациты и графиты – антрацитами и графитами.

Главными причинами продолжающихся дискуссий о роли геологического времени в катагенезе ОВ является недоучет двух трудно диагностируемых, но определяющих катагенез факторов: максимальной температуры, которую испытывали в прошлом изучаемые отложения, и максимальной палеоглубины погружения отложений (или, что равнозначно, мощности когда-то существовавших, но размытых в настоящее время перекрывающих отложений).

Недоучет первого фактора хорошо заметен на примере Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна. Имеются работы, в которых современные пластовые температуры принимаются в качестве максимальных, сформировавших наблюдаемую ныне в породах катагенетическую преобразованность ОВ [9], и совершенно игнорируется, что в Западной Сибири развита зона многолетнемерзлых пород (результат ледникового охлаждения геологического разреза в четвертичном периоде), мощность которой от Ямала и Гыдана сокращается в южном направлении с 400–100 м до полного исчезновения в зоне редкостровного, островного и массивно-островного распространения мерзлоты в Широтном Приобье [10]. Среднегодовые температуры в зоне распространения мерзлоты остались в пределах +3...–5 °С, а тепловой поток из недр Земли недостаточно интенсивен, чтобы «растеплить» осадочные породы и восстановить их температуры до значений, существовавших около 3 млн лет назад, перед началом плейстоценового оледенения. Принимая во внимание ведущую роль максимальных палеотемператур при формировании катагенетической преобразованности ОВ, недоучет первого фактора можно исключить, если оперировать не прогнозируемыми значениями палеотемператур, а природным геотермометром – отражательной способностью витринита (или температурой максимального выхода углеводородов пиролиза T_{max} для ОВ, содержащего значительную часть гумусовых компонентов). Сейчас наиболее широко применяется пиролиз на установке Rock-Eval, разработанной Французским институтом нефти.

Возрастание отражательной способности витринита и параметра T_{max} пиролиза при увеличении катагенетической преобразованности ОВ исследуемых образцов пород носит закономерный характер. Хорошая сопоставимость результатов замеров параметров отражательной способности витринита в масле R^o и T_{max} позволяют широко использовать эти два взаимодополняющих метода [19].

Недоучет второго фактора выявить труднее. Помочь может только тщательный анализ обшир-

ных территорий, смежных с изучаемым районом. Детальный анализ мощностей сохранившихся от размыва более молодых пород соседних территорий способен дать информацию о вероятно существовавших когда-то, но размытых в настоящее время осадках в пределах изучаемого района. Но и в этом случае не всегда удается учесть фациальные изменения отложений, а вместе с ними и значительные возможные изменения мощностей разновозрастных размытых отложений.

Решить проблему восстановления мощностей размытых осадков и, следовательно, палеоглубин погружения сохранившихся отложений можно с помощью восстановления палеоглубинной зональности катагенеза ОВ на этапе максимальных погружений изучаемой территории.

Одними из наиболее ранних трудов по составлению единой шкалы катагенеза ОВ угленосных отложений были работы М. Л. Левенштейна по Донецкому угольному бассейну [7]. Позднее этим же методом были составлены единые шкалы катагенеза ОВ отложений для Кузнецкого и Печорского бассейнов [4, 8]. Он заключается в надстраивании разрезов, вскрытых скважинами в пределах распространения угленосных отложений разной степени катагенетической зрелости. Оказалось, что в районах, где благодаря умеренной посткатагенетической складчатости удалось определить истинные мощности зон катагенеза ОВ ($МК_1^1(Д)$, $МК_1^2(Г)$, $МК_2(Ж)$, $МК_3^1(К)$ и т. д.), мощности отложений с равной катагенетической зрелостью ОВ примерно одинаковы. При надстраивании разрезов все менее преобразованными отложениями, где при сохранении тех же мощностей разных зон катагенеза ОВ сами эти зоны залегают все глубже и глубже, построения неизбежно завершаются разрезами скважин, которые вскрывают наиболее молодые и наименее преобразованные породы, имеющие максимальные мощности. Эти разрезы и принимают за эталонные для бассейнов седиментации, приравнивая их глубины к максимальным палеоглубинам погружения. У метода есть и недостаток: если бассейн седиментации испытывал погружения еще более значительные и в его пределах накапливались еще более молодые отложения, которые впоследствии были полностью уничтожены эрозией, глубины полученных эталонных кривых нарастания катагенеза ОВ не являются наибольшими – теми истинными глубинами, на которых сформировалась наблюдаемая в настоящее время катагенетическая преобразованность ОВ.

Этот же метод составления единой палеоглубинной шкалы катагенеза ОВ был применен для северо-восточной части Западно-Сибирского бассейна и Енисей-Хатангского регионального прогиба [13]. Для этой территории также выяснилось, что мощности одинаковых по преобразованности зон катагенеза ОВ отложений в разных скважинах примерно одинаковы, и, следо-



вательно, палеоглубины этих зон должны были быть в разных районах одинаковы на этапе наибольшего погружения. Добавление в последующем к данным материалам результатов пиролиза и изучения отражательной способности витринита отложений, вскрытых сверхглубокой скв. СГ-6, пробуренной в Уренгойском грабене, позволило оценить максимальные палеоглубины, на которых формировалась наблюдаемая ныне преобразованность ОВ в разрезах скважин. Группа исследователей под руководством Ю. И. Галушкина, Н. В. Лопатина и Т. П. Емец, детально изучавшая породы, вскрытые скв. СГ-6, установила, что в точке ее заложения можно допустить лишь небольшой размыв отложений (100–200 м) со времени наибольшего погружения в палеогене [18]. Но при бурении скважины были вскрыты четвертичные образования мощностью 70 м, что свидетельствует о возобновившемся незначительном погружении территории. Глубинная зональность катагенеза ОВ отложений в скв. СГ-6 практически совпала с глубинной зональностью в Массоновской скв. 363 в Жданихинском прогибе Енисей-Хатангского регионального прогиба с наибольшей стратиграфической полнотой мел-палеогеновых отложений. Судя по геологическим данным, изучаемые районы никогда не испытывали значительных неоген-четвертичных погружений. Учитывая это и погрешность в построении глубинных кривых нарастания катагенеза ОВ в отдельных скважинах, данную зональность в настоящее время можно принять в качестве эталонной палеоглубинной зональности для

северо-востока Западно-Сибирского бассейна и Енисей-Хатангского регионального прогиба.

На рис. 2 показано сопоставление единых кривых нарастания катагенеза ОВ отложений всех вышеназванных районов: северо-востока Западной Сибири, Донбасса, Кузбасса и Печорского бассейна (верхний ряд). Для удобства сравнения красными линиями нанесены три границы, соответствующие концу зон ПК(Б), МК₂(Ж) и АК₁(Т) катагенеза ОВ, установленные в северо-восточной части Западно-Сибирского бассейна и в Енисей-Хатангском региональном прогибе (левая диаграмма).

При рассмотрении зональности катагенеза ОВ в разрезе отложений следует иметь в виду, что тепловой поток из недр Земли и градиент увеличения с глубиной пластовой температуры в разных геотектонических зонах нефтегазоносных бассейнов не остаются постоянными. Меняются они и во времени. Вследствие этого в разрезе отложений формируются либо более сжатые (при повышенном тепловом потоке и температурном градиенте) зоны катагенеза ОВ, либо более растянутые.

Такие явления известны, например, на юге Западной Сибири, где в пределах Колтогорского прогиба и прилегающих районов Нюрольской впадины наблюдается более сжатая зональность катагенеза ОВ, чем в северных и восточных районах Западно-Сибирской плиты [17], но подобные различия имеют закономерный характер. Более интенсивный тепловой поток, выражающийся в более резком нарастании пластовых температур

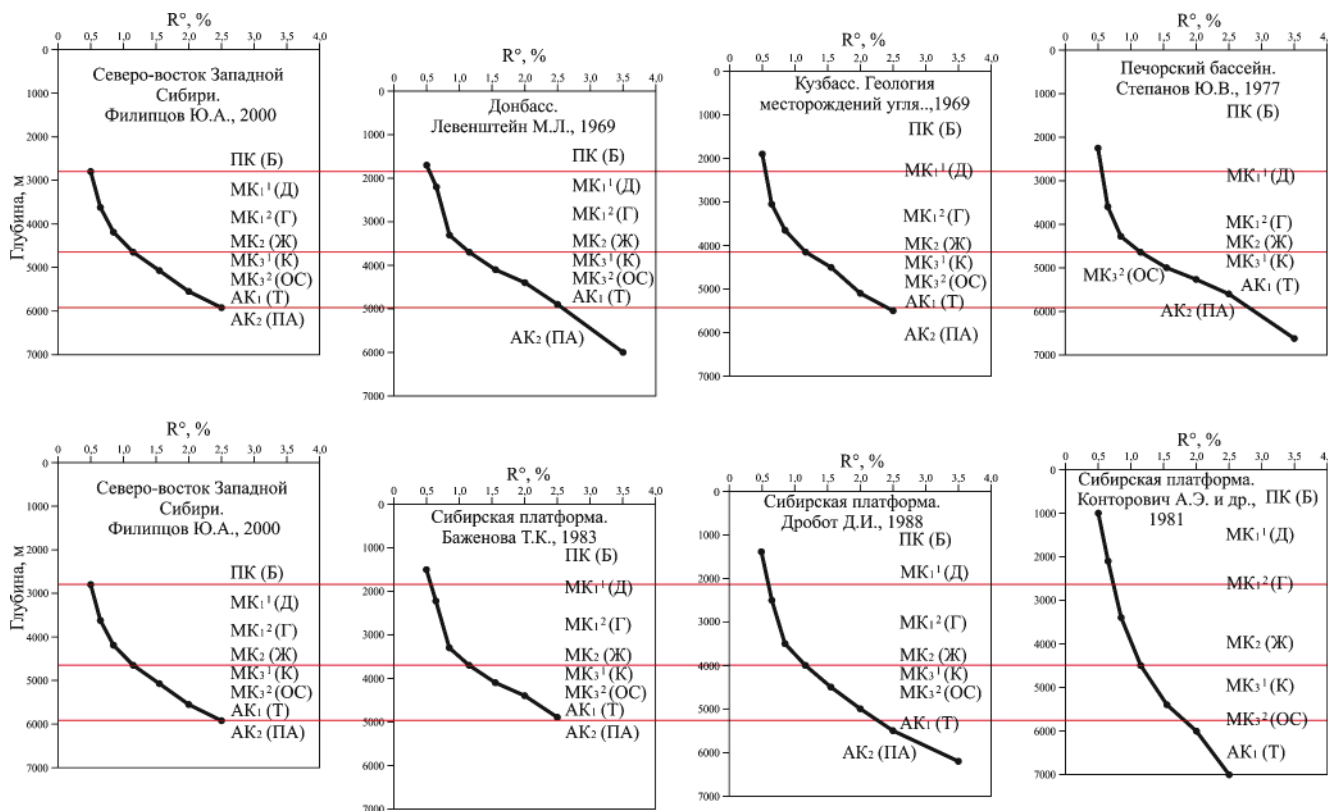


Рис. 2. Сопоставление шкал катагенеза ОВ отложений разных бассейнов

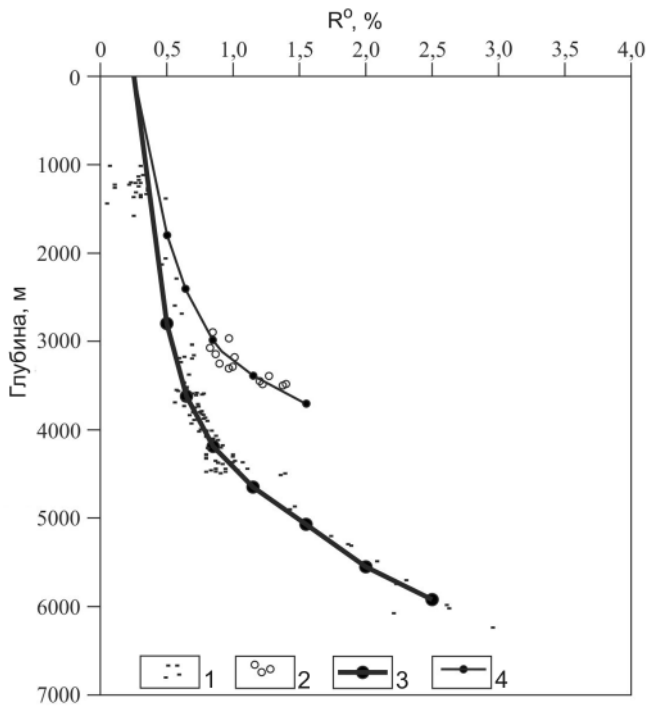


Рис. 3. Соотношение палеоглубинной шкалы катагенеза ОВ северо-восточной части Западно-Сибирской плиты и глубинной шкалы катагенеза ОВ юга Западной Сибири (Нюрольская впадина)

Образцы из скважин: 1 – северо-востока Западно-Сибирской плиты, приведенные к единой палеоглубинной шкале катагенеза ОВ, 2 – Нюрольской впадины; 3 – линия максимальных палеоглубин катагенеза ОВ для отложений северо-востока Западно-Сибирской плиты; 4 – линия возрастания катагенеза ОВ с глубиной для отложений Нюрольской впадины

с глубиной, наблюдается в пределах активно развивающихся грабенов, рифтов и прилегающих к ним районов впадин (рис. 3). Сравнивая мощности одноименных зон катагенеза ОВ, можно отчетливо заметить, что шкала катагенеза ОВ отложений Нюрольской впадины более сжатая. Для эталонной палеоглубинной шкалы катагенеза ОВ северо-востока Западно-Сибирской плиты мощности зон МК₁¹(Д), МК₁²(Г), МК₂(Ж), МК₃¹(К) составляют 820, 570, 460 и 420 м соответственно, а в отложениях Нюрольской впадины – 600, 530, 440, 330 м.

На северо-востоке Западно-Сибирской плиты и в Енисей-Хатангском региональном прогибе шкала катагенеза ОВ вскрытых скважинами отложений в целом более растянутая и примерно одинаковая (по сжатости) во всех вскрытых скважинами разрезах. Это свидетельствует о приблизительно равных и более значительных максимальных погружениях отложений с равной степенью катагенетической преобразованности ОВ.

Возвращаясь к рассмотрению рис. 2, можно отметить, что сжатость всех представленных в верхнем ряду шкал различается незначительно: в интервале от верхней границы зоны МК₃¹(К) до нижней границы зоны АК₁(Т) она практически одинакова. Для Печорского бассейна этот интервал имеет даже меньшую мощность (см. рис. 2).

Сжатость интервала от верхней границы зоны МК₁¹(Д) до нижней границы зоны МК₂(Ж) на шкалах Донбасса, Кузбасса и Печорского бассейна несколько меньше, чем на шкале северо-востока Западной Сибири.

В целом, шкалы Донбасса, Кузбасса и Печорского бассейна в интервале от верхней границы зоны МК₁¹(Д) до нижней границы зоны АК₁(Т) очень близки друг к другу по мощности одноименных зон катагенеза ОВ. В то же время палеоглубинная привязка этих шкал разная: наименьшая – в Донбассе, наибольшая – в Печорском бассейне. Характерно, что глубина нижней границы зоны МК₂(Ж) в Печорском бассейне практически совпадает с таковой на северо-востоке Западной Сибири. Очевидно, что различия в палеоглубинах равных по зрелости зон катагенеза ОВ при сходном угленосном песчано-глинистом составе отложений всех рассматриваемых бассейнов и схожей сжатости шкал катагенеза ОВ связаны не с различиями в теплопроводности отложений, тепловом потоке и градиентах нарастания температуры с глубиной, а прежде всего с недоучетом размыва отложений, накопившихся на этапе максимальных погружений.

Исходя из всех приведенных материалов, можно принять палеоглубинную шкалу катагенеза ОВ, полученную для отложений северо-востока Западной Сибири в качестве наиболее обоснованной для регионов, находящихся на этапе прогрессивного погружения с умеренной скоростью накопления осадков.

Изучением катагенетической зональности ОВ древних отложений Сибирской платформы долгое время занимались СНИИГТиМС, ВНИГРИ, а в последующем ИНГГ СО РАН. Так как в составе раннепалеозойских и более древних отложений Сибирской платформы отсутствует гумусовое ОВ, применение метода определения отражательной способности витринита для выяснения катагенетической преобразованности ОВ этих отложений невозможно. Метод пиролиза с определением по показателю T_{max} степени зрелости для ОВ, не содержащего гумусовых компонентов, также дает неоднозначные и часто противоречивые результаты. Единственным надежным способом оценки катагенеза ОВ древних отложений Сибирской платформы в настоящее время является изучение дебитуминизированного ОВ (собственно керогена) с определением его элементного состава и других физико-химических характеристик.

Богатый материал по изучению катагенетической преобразованности ОВ древних кембрийских и венд-рифейских отложений Сибирской платформы был получен такими учеными, как А. Э. Конторович, Т. К. Баженова, Д. И. Дробот, А. И. Ларичев. Наиболее полная сводка по особенностям применения методики такого изучения была опубликована Л. И. Богородской, А. Э. Конторовичем, А. И. Ларичевым сравнительно недавно [2].



Шкалы катагенеза ОВ, предложенные указанными исследователями для западной части Сибирской платформы, различаются как по значениям палеоглубин, на которых происходило преобразование ОВ, так и по мощности зон, в которых ОВ имеет одинаковую степень катагенетической преобразованности (см. рис. 2).

Вследствие очень фрагментарного отбора керн в скважинах для составления обобщающих шкал катагенеза ОВ всегда используются данные по разным площадям бурения. На примере мезозойских отложений северо-востока Западно-Сибирской плиты и Енисей-Хатангского регионального прогиба было показано, что нанесение результатов оценки катагенеза ОВ разных районов на общий график зависимости степени катагенеза ОВ от глубины в результате осреднения приводит к неправомерному растягиванию шкалы катагенетической преобразованности ОВ по сравнению с действительной зональностью в разрезе [13]. Причинами этого являются различный для каждой площади бурения подъем территории (после этапа наибольшего погружения, прогрева и формирования наблюдаемой ныне преобразованности ОВ) и размыв большей или меньшей части отложений осадочного чехла. В результате такого размыва погружавшиеся на одинаковую глубину и имеющие равную степень преобразованности ОВ отложения оказываются на разных современных глубинах.

Значительный послетриасовый подъем территории Сибирской платформы и размыв отложений приводят к большой неопределенности при реконструкции палеоглубин их погружения на этапе максимального прогрева и при воссоздании единой палеоглубинной шкалы катагенетической преобразованности ОВ. Вследствие названных причин шкалы катагенеза ОВ, применяемые А. Э. Конторовичем, А. И. Ларичевым, Л. И. Богородской, Т. К. Баженовой и Д. И. Дробота значительно различаются.

Для обоснования и принятия единой палеоглубинной шкалы катагенеза ОВ венд-палеозойских образований был проведен анализ установленных закономерностей формирования катагенетической зональности ОВ отложений в разных геотектонических условиях.

Наиболее растянутые шкалы катагенеза ОВ установлены в областях современной лавинной седиментации на окраинах континентов: Сахалинский шельф, Восточная Камчатка [1 и др.]. Сжатые шкалы характерны для древних платформ и наложенных прогибов: Донбасса, Кузбасса [6]. Характерная особенность всех районов со сжатыми шкалами катагенеза ОВ – прохождение ими этапов погружения, этапов более или менее значительной тектонической перестройки и эрозионного этапа (сопровождавшегося уничтожением значительной части отложений, очень трудно поддающейся восста-

новлению при реконструкциях истории развития территории).

Рассматривая представленные на рис. 2 шкалы катагенеза ОВ древних отложений Сибирской платформы (нижний ряд), можно отметить, что сжатость шкалы Т. К. Баженовой и палеоглубинная привязка практически совпадают со шкалой по Донбассу.

Сжатость шкалы Д. И. Дробота в интервале от конца жирной до начала антрацитовых стадий также очень близка к шкале Донбасса, хотя имеет более растянутую верхнюю часть. Это представляется закономерным. Во-первых, данная шкала была составлена по материалам бурения в Иркутском амфитеатре и на Непско-Ботуобинской антеклизе, где насыщенность разреза (особенно нижней части) венда – кембрия межпластовыми телами долеритов относительно низкая, следовательно, меньше искажающее влияние тепла интрузий. Во-вторых, обоснованность данной шкалы в интервале коксовой – антрацитовых стадий более хорошая. Именно в Иркутском амфитеатре зафиксирована наибольшая мощность уничтоженных эрозией отложений: в Иркутском угольном бассейне на земной поверхности в настоящее время залегают в основном длиннопламенные и газовые угли (в южной части), в отличие от бурых углей более северного Канско-Ачинского бассейна [3]. Поэтому в пределах Ангаро-Ленской ступени скважины вскрывают более преобразованные отложения венда – кембрия. Большая растянутость верхней части шкалы Д. И. Дробота обусловлена, вероятно, наложенным тепловым воздействием межпластовых интрузий, наиболее часто встречаемых именно в верхней части разреза отложений.

Шкала А. Э. Конторовича отличается от всех других более значительной растянутостью. Вероятно, причиной служит то, что для ее составления использовались обширные коллекции керогенов из отложений западной части Сибирской платформы, включая умеренно интродуцированные разрезы Байкитской антеклизы и Катангской седловины и уникально интродуцированные разрезы Бахтинского мегавыступа, с последующим осреднением данных на общем графике. В результате более катагенетически преобразованное ОВ верхней части разреза (в результате наложенного траппового прогрева) способствовало сдвиганию вверх границ зон катагенеза $МК_1^1(Д)$ и $МК_1^2(Г)$. Примечательно, что глубина нижней границы зоны $МК_2(Ж)$ на шкале А. Э. Конторовича и др. практически совпадает с таковой для отложений северо-востока Западной Сибири (см. рис. 2).

Суммируя все изложенное, можно констатировать, что для отложений западной части Сибирской платформы наиболее обоснованной в настоящее время является шкала катагенеза ОВ, близкая по сжатости к шкалам Донбасса, Кузбасса, Печорского бассейна, северо-востока



Западной Сибири и Енисей-Хатангского регионального прогиба. Палеоглубинная привязка шкалы близка к привязке шкал Печорского бассейна и Енисей-Хатангского регионального прогиба совместно с северо-восточной частью Западно-Сибирской плиты. Эта шкала наиболее обоснована для восстановления катагенетической зональности отложений на этапе палеозойско-мезозойских погружений Сибирской платформы.

Принятие палеоглубинной шкалы катагенеза ОВ для рифейского этапа развития западной части Сибирской платформы в настоящее время – неразрешимая задача. Можно только с большой долей вероятности утверждать, что такая шкала не должна быть более растянутой, чем шкала венд-фанерозойского этапа развития платформы, так как трудно представить, что в рифее тепловой поток и геотермические градиенты были меньше, чем в венде – фанерозое.

Еще одним важным фактором, характеризующим существовавшие на рифейском этапе осадконакопления условия прогрева погружавшихся пород, является установленное впервые Т. К. Баженовой на Байкинской антеклизе катагенетическое несогласие между наиболее древними отложениями рифея и перекрывающими их осадками венда [11]. Учитывая складчатое строение рифейского комплекса отложений, на Байкинской антеклизе под субгоризонтально залегающими образованиями венда вскрыты породы как нижней части изученного в настоящее время разреза (вэдрэшевской и мадринской толщ), так и самой верхней (ирэмэкенской толщи). ОВ пород вэдрэшевской и мадринской толщ (выходящих в этом районе в предвендский эрозионный срез), изученное в образцах керна из скважин Юрубченских 69, 30, преобразовано до стадий $МК_3^1(K)–МК_3^2(OC)$, тогда как ОВ перекрывающих их вендских отложений преобразовано до стадий $МК_1^2(G)$, $МК_1^2(G)–МК_3^2(J)$ [16]. ОВ пород самой молодой в этом районе рифейской ирэмэкенской толщи, изученной в Юрубченской скв. 104 и Усть-Камовской скв. 20, также преобразовано до стадий $МК_1^2(G)–МК_3^2(J)$. Эти отложения перекрываются вендскими осадками без несогласия. Благодаря хорошей разбуренности района и достаточно надежной информативности сейсмического материала, установлено, что истинная мощность интервала рифейских отложений от границы мадринской и вэдрэшевской толщ до пачки углеродистых аргиллитов в ирэмэкенской толще (где был проведен отбор изученных проб) составляет около 3 км. Из этого следует, что на рифейском этапе развития вэдрэшевская и мадринская толщи в изученном районе погружались как минимум на 3 км (но вероятнее всего, глубже) и ОВ в этих толщах достигло стадий катагенеза $МК_3^1(K)–МК_3^2(OC)$. Даже если принять для этой территории шкалу катагенеза ОВ на этапе наибольших погружений в рифее примерно такой же, как для венд-фанерозойского этапа развития,

то ОВ ирэмэкенской толщи, имея сегодня преобразованность до степени $МК_1^2(G)–МК_2^2(J)$, не могло быть так прогрето еще в рифее. Чтобы достичь наблюдаемой зрелости, ОВ ирэмэкенской толщи должно было испытать дополнительный прогрев уже в фанерозое и генерировать дополнительные количества углеводородов.

Восстановление существовавшего в рифее температурного режима, сформировавшего в то время катагенетическую зональность ОВ отложений, будет продолжено в дальнейшем, при поступлении новых данных по вновь пробуренным скважинам. Сегодня же можно принять, что шкала катагенеза ОВ, обоснованная для западной части Сибирской платформы на венд-фанерозойском этапе ее развития, может быть условно применена и для реконструкции развития территории на рифейском этапе как наиболее растянутая из возможных.

На рис. 4 и 5 показаны палеоразрезы по линии, приблизительно совпадающей с частью профиля «Алтай – Северная Земля» до Хоркической скв. 1 и далее – с частью расщелины к этому профилю до Мадринской скв. 156 на отрезке от левобережья р. Ангара (от Присаяно-Енисейской синеклизы) до р. Подкаменная Тунгуска (до Байкинской антеклизы).

На разрезе нанесены пробуренные скважины Имбинская 180 (Им 180), Нижнемадашенская 138 (НМд 138), Хоркическая 1 (Хр 1), Юрубченские 106, 110 (Юр 106, 110) и Мадринская 156 (Мдр 156). Крестиками показаны точки отбора проб ОВ, по которым проведено детальное изучение керогена и определение стадии зрелости ОВ [16].

Геологические границы на изучаемой территории в настоящее время не могут быть надежно протрассированы ввиду выявленного в последнее время по новым геолого-геофизическим данным широкого фациального замещения рифейских отложений [14, 15]. Вместо них на разрезе нанесены давно и надежно прослеживаемые в изучаемом районе отражающие границы R_4 , R_3 и R_2 , которые приурочены к кровле вэдрэшевской толщи, к прикровельной части копчерской толщи и к подошве токурской толщи (или их приблизительных стратиграфических аналогов) соответственно. Стратиграфия рифейских отложений данной территории применительно к полученным новым сведениям была рассмотрена ранее [14, 15].

Красными линиями на разрезе нанесена обоснованная выше зональность катагенеза ОВ: на этапе максимального погружения отложений в рифее (см. рис. 4) и на этапе предвендского выравнивания (см. рис. 5), когда после затухания тектонических движений произошли кратонизация и пенепленизация региона. В дальнейшем (в венде – фанерозое) рифейские отложения, представленные на разрезе, были погружены на 3–4 км (на южном склоне Байкинской антеклизы) и на 6–7 км (в прилегающих районах Присаяно-

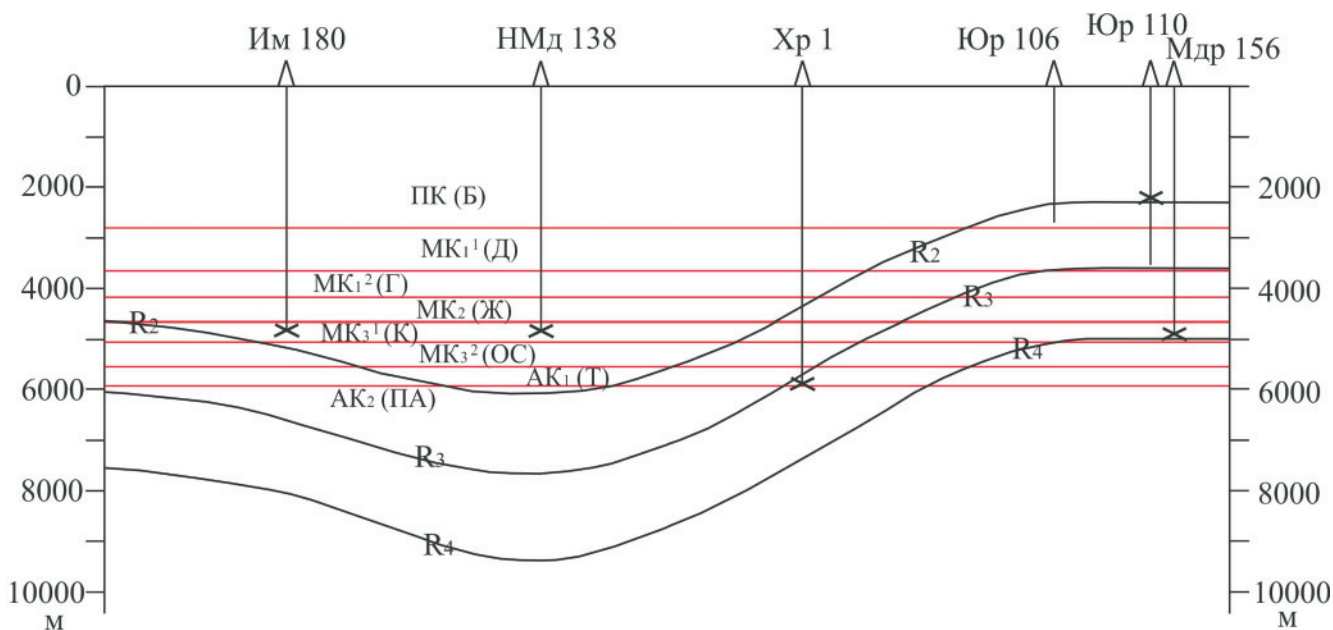


Рис. 4. Палеотектонический разрез на время наибольшего погружения отложений в рифее

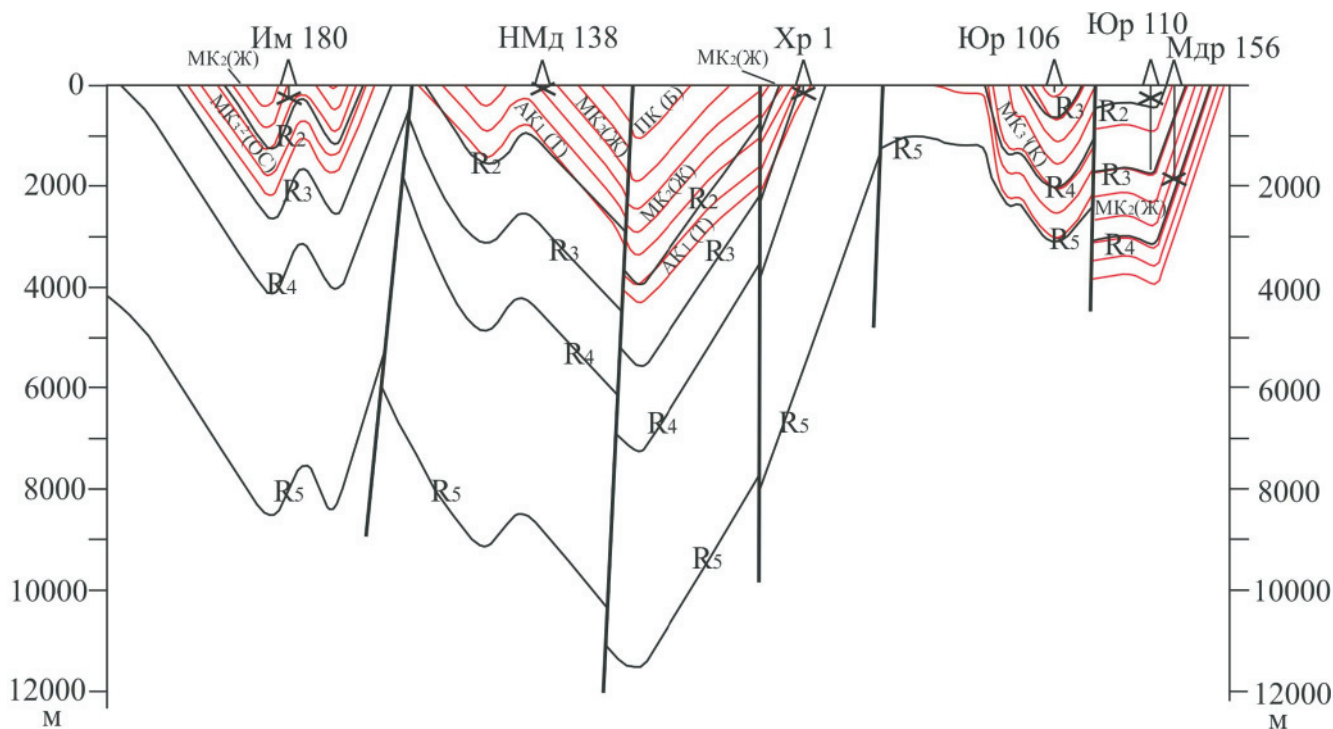


Рис. 5. Палеотектонический разрез на время предвендской денудации территории

Енисейской синеклизы) [12]. Во время нескольких эрозионных этапов (включая современный) в дальнейшем была уничтожена большая часть мезозойских, верхнепалеозойских, ордовикских и даже часть кембрийских (в Ангарской зоне складок) отложений, но в целом залегание вендфанерозойских отложений осталось субгоризонтальным (за исключением несколько более нарушенной Ангарской зоны складок).

Возвращаясь к рассмотрению представленных на рис. 4 и 5 разрезов, можно отметить, что принятая зональность катагенеза ОВ достаточно информативно характеризует историю пре-

образования ОВ отложений в рифейское время. Даже если зональность катагенеза ОВ на рифейском этапе развития была более сжатая и палеоглубины формирования той или иной преобразованности ОВ были значительно меньше, это несущественно меняет выводы, которые можно сделать из представленных моделей, так как привязка катагенеза ОВ осуществлена по фактически проанализированным пробам с достаточно надежно диагностированной степенью зрелости ОВ [16].

Из материалов, представленных на рис. 4 и 5 следует, что ОВ значительной части рифей-



ских отложений в приосевой зоне Иркинево-Ванаварской ячеи Ангаро-Котуйского прогиба было преобразовано еще в рифее до высоких стадий: МК₃¹(К) и выше. На этапе предвендского воздымания и эрозии отложений львиная часть пород, содержащих слабо катагенетически измененное ОВ, была уничтожена. Только в самых погруженных приосевых частях сформировавшихся прогибов и впадин сохранились отложения с ОВ, преобразованным до стадии МК₂(Ж) и меньше. Также сохранились породы с невысокой степенью катагенетической преобразованности ОВ в краевой северной части Ангаро-Котуйского прогиба.

С возобновлением венд-фанерозойского этапа осадконакопления эти слабо преобразованные рифейские породы были погружены на глубины главной зоны нефтеобразования (нефтяного окна) и ниже, реализовав практически весь свой остаточный нефтегенерационный потенциал. Под мощными соленосными кембрийскими флюидоупорами генерированные УВ могли в значительной степени сохраниться до настоящего времени.

На этапе глубоких погружений рифейский комплекс отложений, безусловно, генерировал огромные объемы нефти и газа. Вся нижняя часть рифейского разреза представлена в той или иной мере обогащенными ОВ песчано-глинистыми и карбонатно-глинистыми отложениями (за исключением только краевых зон прогиба, где формировались карбонатные платформы). Весь этот объем генерированных УВ мигрировал по направлению к краевым зонам прогиба и в сторону консидементационно формировавшихся поднятий. Но в отличие от территории, например, Западно-Сибирской плиты сейсмические материалы показывают, что образование таких поднятий для рифейского этапа осадконакопления не было характерно: надежно отмечается консидементационно увеличивающаяся мощность рифейских отложений от северного краевого борта Иркинево-Ванаварской части Ангаро-Котуйского прогиба (территории современной Юрубчено-Тохомской зоны нефтегазонакопления) в сторону осевой части прогиба [15]. Увеличение общей мощности комплекса рифейских отложений в целом происходит постепенно и плавно.

С учетом выявленных этапов формирования в рифее (в отдельные отрезки времени) некомпенсированных осадками впадин и прогибов с последующим заполнением их отложениями, имеющими клиноформное строение, на этапе прогрессивного погружения могли существовать ловушки в пределах карбонатных построек, перекрытых глинистыми толщами [14, 15]. Но в конце этапа погружения в рифее тектонический режим развития региона настолько активизировался, что весь комплекс рифейских осадков был смят и разбит разломами (см. рис. 5). На предвендском этапе развития территория испытала значитель-

ные воздымания, и в результате многие из когда-то возможно существовавших ловушек УВ были уничтожены эрозией вместе с залежами нефти и газа. Какая-то часть тех древних залежей нефти, вероятно, сохранилась тогда от уничтожения в краевых приподнятых частях Ангаро-Котуйского прогиба. Но рассчитывать на обнаружение заслуживающих внимания внутририфейских залежей УВ, видимо, следует только в районах развития в пределах рифейского комплекса эвапоритовых ангидритсодержащих отложений, которые на больших глубинах могут являться удовлетворительными флюидоупорами. Очевидно, что в этом случае обязательно возникнут проблемы с качеством коллекторов.

Резюмируя все сказанное, следует отметить, что, несмотря на огромные масштабы генерации УВ рифейскими отложениями еще в рифее и весьма значительные их потери на предвендском этапе развития западной части Сибирской платформы, потенциал сохранившихся от размыва и не реализовавших свои генерационные возможности углеродистых рифейских толщ остался весьма значительным.

В настоящее время имеются многочисленные сейсмические данные, которые свидетельствуют, что складчатость рифейского комплекса отложений не везде проявилась настолько сильно, как в пределах показанной на палеоразрезах части Ангаро-Котуйского прогиба. В Чуньско-Котуйской ячее прогиба складчатость рифея выражена значительно слабее (в особенности в его восточной части, протягивающейся от западных склонов Непско-Ботуобинской антеклизы на север до Анабарской). Также вероятно, что протяженные слабонарушенные краевые части рифейских прогибов не погружались в рифейское время столь глубоко, как в осевых зонах Иркинево-Ванаварской ячеи. Материалы по развитию нефтегазоматеринской аянской толщи на Собинском валу и к северу от него подтверждают эти прогнозы [16], как и данные по северному борту Иркинево-Ванаварской ячеи прогиба (см. рис. 5).

В целом, нефтегазогеологическое изучение западной части Сибирской платформы необходимо продолжить, тем более что редкие параметрические и поисковые скважины, пробуренные в последние годы в пределах рассматриваемой территории, выявляют новые зоны нефтегазонакопления и открывают новые месторождения: Абаканское, Ильбокичское, Исчухское, Борщевское, Придутское, Абракупчинская и Кординская залежи на Куюмбинском месторождении, приток конденсатного газа в Аргишской скв. 273.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баженова, О. К. Восточно-Камчатский нефтегазоносный бассейн геосинклинального типа [Текст] / О. К. Баженова // Тр. Северо-



восточного комплексного НИИ АН СССР. – 1973. – Вып. 49. – С. 63–173.

2. **Богородская, Л. И.** Кероген: методы изучения, геохимическая интерпретация [Текст] / Л. И. Богородская, А. Э. Конторович, А. И. Ларичев. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2005. – 254 с.

3. **Геология** месторождений угля и горючих сланцев СССР. Т. 8. Канско-Ачинский, Тунгусский, Иркутский и другие бассейны Красноярского края, Иркутской области и Тувинской АССР [Текст]. – М. : Недра, 1964. – 790 с.

4. **Геология** месторождений угля и горючих сланцев СССР. Т. 7. Кузнецкий, Горловский бассейны и другие угольные месторождения Западной Сибири [Текст]. – М. : Недра, 1969. – 912 с.

5. **Историко-генетический** метод оценки перспектив нефтегазоносности [Текст] / Л. А. Польстер, Ю. В. Висковский [и др.]. – М. : Недра, 1984. – 200 с.

6. **Катагенез** и нефтегазоносность [Текст] / Г. М. Парпарова, С. Г. Неручев [и др.]. – Л. : Недра, 1981. – 240 с.

7. **Левенштейн, М. Л.** Основные проблемы регионального метаморфизма углей [Текст] / М. Л. Левенштейн // Геология угольных месторождений. Т. 1. – М. : Наука, 1969. – С. 113–123.

8. **Метаморфизм** углей [Текст] / Ю. В. Степанов, И. Б. Гранович [и др.] // Угольная база России. Т. 1. Угольные бассейны и месторождения европейской части России (Северный Кавказ, Восточный Донбасс, Подмосковный, Камский и Печорский бассейны, Урал). – М. : Геоинформмарк, 2000. – С. 201–209.

9. **Нагорный, В. Н.** Роль геологического времени в процессах регионального метаморфизма углей и угольных включений нефтегазоносных пород [Текст] / В. Н. Нагорный, Ю. Н. Нагорный // Химия твердого топлива. – 1976. – № 6. – С. 9–11.

10. **Общее** мерзлотоведение (геокриология) [Текст] / Под ред. В. А. Кудрявцева. – М. : МГУ, 1978. – 464 с.

11. **Органическая** геохимия палеозоя и допалеозоя Сибирской платформы и прогноз нефтегазоносности [Текст] / Под ред. К. К. Макарова, Т. К. Баженовой. – Л. : Недра, 1981. – 211 с.

12. **Оценка** катагенеза органического вещества и прогноз фазового состава залежей углеводородов разновозрастных отложений Сибирской платформы и Западно-Сибирской плиты на территории Красноярского края [Текст] / Ю. А. Филиппов, Л. Н. Болдушевская, Ю. В. Петришина [и др.] // Геология и полезные ископаемые Красноярского края. – Красноярск : КНИИГиМС, 1998. – С. 79–94.

13. **Применение** пиролиза для изучения катагенеза органического вещества мезозойских отложений Енисей-Хатангской и северо-восточной части Пур-Тазовской нефтегазоносных областей [Текст] / Ю. А. Филиппов, Л. Н. Болдушевская [и др.] // Геология и геофизика. – 1999. – Т. 40, № 12. – С. 1837–1842.

14. **Филиппов, Ю. А.** Геологическое строение рифейских отложений зоны сочленения Сибирской платформы и Енисейского кряжа [Текст] / Ю. А. Филиппов // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2012. – № 1(9). – С. 49–66.

15. **Филиппов, Ю. А.** Геологическое строение рифейских прогибов западной части Сибирской платформы [Текст] / Ю. А. Филиппов // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2011. – № 4(8). – С. 30–47.

16. **Филиппов, Ю. А.** Рифейские прогибы – основные источники нефти и газа в западной части Сибирской платформы [Текст] / Ю. А. Филиппов, В. С. Старосельцев // Геология нефти и газа. – 2009. – № 6. – С. 40–56.

17. **Фомин, А. Н.** Катагенез и перспективы нефтегазоносности глубоко залегающих мезозойских и палеозойских толщ Западно-Сибирской плиты [Текст] / А. Н. Фомин // Нефтегазоносность палеозоя и протерозоя. – Пекин : изд-во Китайской нефтяной корпорации, 1995. – С. 137–157.

18. **Галушкин, Ю. И.** Численное моделирование эволюции катагенеза отложений юры и триаса [Текст] / Ю. И. Галушкин, Н. В. Лопатин, Т. П. Емец // Тюменская сверхглубокая скважина. – Пермь, 1976. – С. 279–286.

19. **Teichmuller, M.** Fluorescence microscopical rank studies on liptinites and vitrinites in peat and coals, and comparison with results of the Rock-Eval pyrolysis [Text] / M. Teichmuller, B. Durand // Intern. J. Coal Geol. – 1983. – Vol. 2, N 3. – P. 197–230.