

КАТАГЕНЕЗ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ РАЗРЕЗА СРЕДНЕЙ ЮРЫ ЗАПАДНО-СИБИРСКОГО МЕГАБАССЕЙНА

А.Н. Фомин

*Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН,
630090, Новосибирск, просп. Академика Коптюга, 3, Россия*

Новосибирский государственный университет, 630090, Новосибирск, ул. Пирогова, 2, Россия

На основе более 1500 замеров отражательной способности витринита (R_{Vt}^0) с применением математического моделирования и компьютерных технологий построена схематическая карта катагенеза органического вещества (ОВ) для кровли среднеюрских отложений Западно-Сибирского мегабассейна. Уровень зрелости ОВ изменяется в пределах градаций ПК₃—АК₂. Наименее преобразовано ОВ по бортам мегабассейна. По направлению к центральным районам катагенез постепенно нарастает (градации МК₁²—МК₂) и достигает максимума на севере (АК₂), где отложения погружались на значительные глубины в зоны жестких термобарических условий. Распределение в юрских отложениях зон разной преобразованности ОВ по территории мегабассейна — типичный случай регионального катагенеза.

Юрские отложения, катагенез (уровень зрелости) органического вещества, Западно-Сибирский мегабассейн.

THERMAL MATURITY OF UPPERMOST MIDDLE JURASSIC SEDIMENTS IN THE WEST SIBERIAN BASIN

A.N. Fomin

More than 1500 measurements of vitrinite reflectance (R_{Vt}^0), along with mathematical modeling and computing, have been used to map the uppermost Middle Jurassic sediments of the West Siberian basin according to thermal maturity (catagenesis). The thermal maturity varies within the grades PC₃ to AC₂. Sediments are the least mature along the margins of the basin, and the maturity grade increases progressively toward its central and northern parts (grades MC₁²—MC₂). It reaches a maximum in the north (AC₂), where the sediments which subsided to large depths became exposed to high temperatures and pressures. The maturity zones of Jurassic sediments in the West Siberian basin form a typical pattern of regional catagenesis.

West Siberian basin, Jurassic sediments, organic matter, thermal maturity, catagenesis

ВВЕДЕНИЕ

В природе существует единый процесс преобразования органического вещества (ОВ), сопровождающийся на определенных этапах литогенеза выделением значительных количеств жидких и газообразных углеводородов. Связь между катагенезом ОВ и нефтегазоносностью вмещающих толщ была установлена еще в работе [Rogers, 1863]. Позднее Д. Уайт [White, 1915] выделил био- и геохимические стадии и предложил метод углеродного коэффициента, т. е. **параметр уровня зрелости ОВ**, и с ним сопоставил нефтегазоносность осадочных толщ. Положительно оценивая теорию углеродного коэффициента Д. Уайта, И.М. Губкин основное содержание ее изложил в своем фундаментальном труде «Учение о нефти», впервые изданном в 1932 г. [Губкин, 1975]. Уже тогда им были выделены стадии углефикации углей, с которыми связаны нефти различных типов, а также сухой газ зоны сравнительно глубокого катагенеза. Таким образом, И.М. Губкин предложил схему стадийности нефтегазообразования, которая получила дальнейшее развитие в трудах преимущественно российских ученых — В.В. Вебера, М.В. Абрамовича, В.А. Соколова, Н.Б. Вассоевича, В.С. Вышемирского, А.Э. Конторовича, С.Г. Неручева, А.А. Трофимука и других. Этими исследователями показано, что катагенез является одним из важнейших факторов, контролирующих формирование и сохранение залежей нефти и газа, он в значительной мере определяет их фазовое состояние и углеводородный состав. Поэтому выяснение катагенетических условий формирования осадочных толщ весьма актуально для решения многих вопросов нефтяной геологии.

В изучение катагенеза органического вещества юрских отложений Западной Сибири существенный вклад внесли многие исследователи [Конторович и др., 1967а, б, 1975; Парпарова и др., 1981; Лопатин, Емец, 1984; Аммосов и др., 1987; Ровенская, Немченко, 1989; Ермаков, Скоробогатов, 1990; Бостриков, Фомичев, 1991; Фомин, 1992, 1995]. Однако в большинстве работ содержатся сведения об уровне зрелости ОВ лишь отдельных районов. Региональные обобщения катагенеза ОВ в юрских отложениях начаты А.Э. Конторовичем с соавторами [1967б, 1975] в 60-х годах прошлого века и продолжаютя в настоящее время [Конторович и др., 2009]. Ими впервые был дан также прогноз катагенеза ОВ в юрских отложениях северных и арктических районов Западной Сибири, который, как будет показано ниже, полностью подтвердился. С того времени накоплен огромный фактический материал по уровню зрелости ОВ, интерпретация которого позволила автору существенно уточнить и детализировать выполненные ранее построения. На основе более 1500 замеров отражательной способности витринита (R_{Vt}^o) с применением математического моделирования и компьютерных технологий построена схематическая карта катагенеза ОВ для верхней части разреза средней юры Западно-Сибирского мегабассейна. При этом учитывались также опубликованные данные указанных выше исследователей. Методика построения таких карт была изложена ранее [Конторович и др., 2009]. Полученные компьютерными построениями контуры градаций катагенеза на отдельных участках корректировались и сглаживались.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Отложения этого возраста (тюменская свита и ее аналоги) вскрыты значительным количеством скважин, пробуренных на территории Западно-Сибирского мегабассейна. Уровень зрелости органического вещества в кровле средней юры изменяется в пределах градаций $ПК_3$ — $АК_2$ (рисунок). Слабо- и умеренно преобразованное ОВ (градации $ПК_3$ — $МК_1^2$) развито преимущественно в южных, центральных и окраинных частях мегабассейна, а более измененное — в северных районах, в которых толщи погружались на значительные глубины в зоны жестких термобарических обстановок. Наименьший катагенез ОВ (градиация $ПК_3$, $R_{Vt}^o < 0.50$ %) установлен на окраинах региона. В южной части Барабинско-Пихтовской мегамоноклизы на Татьяновской площади отражательная способность витринита ($R_{Vt}^o = 0.46$ %) свидетельствует о середине градации $ПК_3$. Эта зона протокатагенеза продолжается на восток, охватывая южную часть Тегульдетской мегагемисинеклизы. Далее она широкой полосой через Предъенисейскую мегамоноклизу протягивается на север вдоль восточного обрамления мегабассейна до Енисей-Хатангского регионального прогиба. Здесь на Суходудинской, Джангодской и Тундровой площадях R_{Vt}^o составляет 0.40—0.48 % (градиация $ПК_3$). Судя по результатам математического моделирования, зона протокатагенеза продолжается в Предтаймырскую мегамоноклизу. Градиация $ПК_3$ охватывает значительную часть Тюменской мегамоноклизы (запад региона). Южнее Шаимского мегавыступа (Леушинская, Половинкинская площади) уровень зрелости ОВ отвечает концу $ПК_3$ —началу $МК_1^1$ ($R_{Vt}^o = 0.49$ —0.50 %). Зона протокатагенеза предполагается на западе Зауральской мегамоноклизы и продолжается на север до Пайхойско-Новоземельской мегамоноклизы.

В кровле средней юры наиболее широко представлены отложения с уровнем зрелости ОВ градации $МК_1^1$ ($R_{Vt}^o = 0.50$ —0.65 %), но преимущественно в южных и центральных районах мегабассейна. На юге Северо-Межовской мегамоноклинали (Татарская площадь) преобразованность ОВ отвечает концу этой градации. С той же интенсивностью изменено ОВ и севернее (Пахомовская, Межовская, Бочкаревская, Чековская, Островная). Зона такого катагенеза узкой субмеридиональной полосой протягивается через центр Межовского мегамыса (Витинская, Дедовская, Бергульская, Верхтарская, Малоичская площади), охватывает западную часть Чузикско-Чижапской мезоседловины (Львовская, Солоньевская, Кулгинская, Южно-Табаканская, Тамбаевская, Герасимовская, Урманская, Калиновская, Пономаревская, Пудинская) и практически полностью охватывает Шингинскую мезоседловину (Сельвейкинская, Селимхановская, Юбилейная, Лугинецкая, Кыкинская). Продолжаясь в северном направлении, зона градации $МК_1^1$ распространяется на восточную часть Среднеvasюганского мегавала (Мыльджинская, Коленсальская, Рагозинская, Среднеvasюганская, Сельская). Эта зона катагенеза от Чузикско-Чижапской мезоседловины продолжается на запад, где на Зимней, Лосинской, Водораздельной, Арчинской и Пешеходной площадях Нюрольской мегавпадины уровень зрелости ОВ несколько ниже и отвечает началу—середине $МК_1^1$.

Преобразованность ОВ градации $МК_1^1$ от юга Северо-Межовской мегамоноклинали продолжаетя на восток, охватывая северную часть Барабинско-Пихтовской мегамоноклинали (Барабинская, Тенисская, Голубинская площади). С той же интенсивностью преобразовано ОВ в смежных районах Калгачского мегавала (Парбигская) и Чузикско-Чижапской мезоседловины. Катагенез конца $МК_1^1$ установлен на северо-востоке Парабельского мегавала (Колпашевская, Верхнекарзинская, Басмасовская, Калчанская, Парабельская, Сильгинская, Северо-Сильгинская). Переходное состояние между градиациями и $МК_1^1$ и $МК_1^2$ ($R_{Vt}^o = 0.65$ %) зафиксировано на Снежной и Тростниковой площадях. Эта

единая зона катагенеза (середина—конец MK_1^1) охватывает южную часть Северо-Парабельской мегамоноклинали (Кочебиловская, Каргасокская), полностью Зайкинскую мезоседловину (Северо-Колпашевская) и юг Пайдугинского мегавала (Береговая, Куржинская).

Уровень зрелости ОВ середины MK_1^1 установлен на всей территории Восточно-Пайдугинской мегавпадины (Еланская, Карбинская) и Владимировского мегамыса (Няргинская, Мартовская, Вездеходная). В восточном направлении катагенез ослабевает и на Чачанской, Ярской площадях, а также в скв. Восток-3 и Восток-4 отвечает началу—середине градации MK_1^1 . С той же интенсивностью изменено ОВ на юге Куржинской гряды (Ажарминская, Западная, Корбыльская, Кананакская, Громовская). Сильнее преобразовано ОВ в скв. Восток-1, где оно достигло конца этой градации. Зона MK_1^1 полностью занимает Пыль-Караминский мегавал. На юге структуры (Пульсецкая, Чимулякская, Малочимулякская, Сибкраевская) ОВ преобразовано до середины MK_1^1 , а на севере (Пыль-Караминская, Кульньюгольская) — до начала этой градации. Зона градации MK_1^1 полностью охватывает Караминскую мегаседловину (Котыгъеганская, Сабунская, Ларьякская, Эмторская, Линейная). В южном направлении катагенез усиливается и на западе Усть-Тымской мегавпадины (Трассовая, Мурасовская, Вартовская) достигает конца MK_1^1 . Эта зона катагенеза занимает значительную часть Александровского свода, где на одних площадях (Вахская, Поисковая) установлено начало MK_1^1 , а на других (Мыгытынская, Люкпайская, Кошильская, Обская) — середина этой градации. В западном направлении по мере приближения к Колтогорскому мезопрогнбу преобразованность ОВ усиливается и на Проточной, Надеждинской, Южно-Охтеурьевской, Северной площадях достигает конца этой градации. Середина MK_1^1 зафиксирована севернее Александровского свода (Хохряковская, Южно-Эниторская, Эниторская площади).

Катагенез ОВ градации MK_1^1 установлен на большей части Красноселькупской моноклизы. На юге структуры (Северо-Хохряковская, Верхнеколикъеганская, Восточно-Сабунская, Северо-Сабунская, Приозерная, Верхнекаралькинская площади) уровень зрелости ОВ отвечает концу этой градации. С той же интенсивностью преобразовано ОВ и севернее (Толькинская, Северо-Толькинская). К востоку (смежные районы Предъенисейской мегамоноклизы) катагенез несколько ослабевает и на Ванжильской, Северо-Лымбельской, Кысьеганской площадях отвечает началу—середине MK_1^1 . Эта зона продолжается на север к Енисей-Хатангскому региональному прогибу. Здесь на одних площадях (Нижнехетская, Зимняя) Усть-Портовогского мегавыступа уровень зрелости ОВ отвечает началу MK_1^1 , а на других (Майская, Мессояхская, Южно-Соленинская) — концу этой градации. Переходное состояние между градами MK_1^1 и MK_2^2 ($R_{v1}^0 = 0.65\%$) зафиксировано на Горчинской и Пеляткинской площадях. Судя по результатам математического моделирования, эта зона катагенеза продолжается на восток и далее на север, охватывая южные и западные борта Предтаймырской мегамоноклизы.

Подобная преобразованность ОВ (градация MK_1^1) установлена практически на всей территории Красноленинской мегамоноклизы. На юге структуры (Омская, Новолюбинская, Саргатская, Тарбажинская площади) установлено начало градации MK_1^1 . С той же интенсивностью изменено ОВ в смежных районах Тюменской мегамоноклизы (Малиновская, Викуловская, Михайловская). Середина MK_1^1 зафиксирована на Покровской, Согринской и Тобольской площадях этой структуры. До конца этой градации преобразовано ОВ на Эргинской, Уватской, Нагорненской и Наталинской площадях Красноленинской мегамоноклизы. Аналогичный уровень зрелости ОВ установлен практически на всей территории Муромцевско-Седельниковского мегапрогиба (Большереченская, Новологиновская, Никольская, Баженовская) и Пологрудинского мегавала (Ивановская, Нововасильевская, Тайтымская). Градация MK_1^1 занимает почти полностью территорию Верхневасюганской антеклизы. На юге этой структуры (Баклянская площадь) установлен конец этой градации. Близкий уровень зрелости ОВ зафиксирован на севере Верхнедьяновского мегавала (Заозерная, Урненская, Усть-Тегусская, Травяная, Новоютымская) и юго-восточнее (Карандашевская, Мелимовская, Крапивинская, Двуреченская) этой структуры. С той же интенсивностью изменено ОВ в смежных районах Нюрольской мегавпадины (Таловая, Карайская). Аналогичный уровень зрелости ОВ выявлен на западе Каймысовского свода (Нововасюганская, Коимлынская, Махнинская). Преобразованность ОВ градации MK_1^1 установлена также в центральных и южных частях Северо-Демьянской мегамоноклинали и Среднетобольского мегапрогиба.

Катагенез градации MK_1^1 установлен на значительной части Хантейской гемиантеклизы. В частности, она полностью охватывает Нижневартовский свод. Причем на большинстве разведочных площадей (Комсомольская, Южно-Аганская, Чумпаская, Самотлорская, Северо-Покурская, Медведевская, Нижневартовская, Стрежевая, Аленкинская) уровень зрелости ОВ отвечает концу MK_1^1 , а на отдельных (Советская, Соснинская, Лоръеганская) — началу—середине этой градации. Переходное состояние между градами MK_1^1 и MK_2^2 ($R_{v1}^0 = 0.65\%$) зафиксировано на Захарютинской, Западно-Самотлорской и Рубиновой площадях. Катагенез конца MK_1^1 установлен в смежных с Нижневартовским сводом районах. Южнее этой структуры такой уровень зрелости ОВ выявлен на Верхнеколтогорской и Южно-Колтогорской площадях. Аналогичная преобразованность ОВ прослеживается западнее (Нежданная,

Агатова, Сутлымкинская) и северо-западнее (Малоаганская, Егурьяхская, Сенчинская) Нижневартовского свода. Эта зона катагенеза продолжается северо-восточнее свода, охватывая значительную часть Варьеганско-Тагринского мегавыступа (Сороминская, Гуньеганская, Новомолодежная, Пылинская).

Практически на всей территории Сургутского свода (за исключением северных районов) уровень зрелости ОВ отвечает градации MK_1^1 . На большинстве разведочных площадей (Сургутская, Южно-Сургутская, Западно-Сургутская, Лянторская, Дунаевская, Федоровская, Быстринская) органическое вещество преобразовано до конца этой градации. С той же интенсивностью изменено ОВ западнее этой структуры (Маслиховская, Южно-Алехинская). Пониженный катагенез на Сургутском своде зафиксирован на Солкинской и Вачимской площадях (начало MK_1^1). Близкий уровень зрелости ОВ выявлен юго-восточнее свода (Широковская, Еловая, Западно-Покомасовская).

Полученные нами данные по 30 локальным структурам Шаимского нефтеносного района однозначно свидетельствуют о преобразованности ОВ в пределах градации MK_1^1 . Причем здесь на относительно небольшом участке весьма дифференцированно проявились факторы катагенеза, вследствие чего уровень зрелости ОВ резко меняется от начала до конца градации MK_1^1 даже между соседними разведочными площадями. Так, на Шаимском мегавыступе начало MK_1^1 зафиксировано на Шаимской, Назаровской, Пульгынской, Узбекской, Среднемулымьинской, Убинской и Филипповской площадях, середина — на Мулымьинской, Мортмыья-Тетеревской, Славинской, Среднекондинской, конец этой градации — на Трехозерной, Кетлохской и Лазаревской. Аналогичная ситуация отмечается севернее мегавыступа (южная часть Зауральской мегамоноклизы), где на Верхнесупринской, Северо-Даниловской и Западно-Ловинской площадях ОВ преобразовано до начала MK_1^1 , на Даниловской, Сыморьяхской, Шушминской, Западно-Тугровской, Сотэюганской и Нергинской — до середины, а на Усть-Иусской, Ловинской, Верхнелемьинской, Тугровской и Шеркалинской — до конца этой градации. Конец MK_1^1 установлен на большинстве разведочных площадей (Кашатская, Онтохская, Талинская, Алешкинская) восточнее Шаимского мегавыступа (смежные районы Красноленинской мегамоноклизы). Переходное состояние между градами MK_1^1 и MK_1^2 зафиксировано на Яхлинской и Южно-Талинской площадях.

Катагенез ОВ градации MK_1^1 по западной окраине мегабассейна продолжается на север. Здесь на Игримской, Нарыкарской, Лыхминской, Чуэльской, Полуйской и Таноппинской площадях Зауральской мегамоноклизы фиксируется начало MK_1^1 . К востоку катагенез несколько усиливается и на Верхнелыхминской, Казымской и Помутской площадях Красноленинской мегамоноклизы достигает конца этой градации. Середина MK_1^1 зафиксирована на Ольховской площади. Градация MK_1^1 установлена на значительной части Пайхойско-Новоземельской мегамоноклизы. Аномально низкая преобразованность ОВ выявлена на Сюнайсаинской площади (начало MK_1^1). К северу уровень зрелости ОВ увеличивается и на Верхнереченской, Западно-Яротинской, Малоямальской, Усть-Юрибейской площадях достигает конца этой градации. Результаты математического моделирования свидетельствуют, что эта зона катагенеза продолжается на север Пайхойско-Новоземельской мегамоноклизы.

Отложения с преобразованностью ОВ градации MK_1^1 ($R_{v_1}^0 = 0.65—0.85\%$) широко распространены на территории мегабассейна, но преимущественно в центральных и северных районах. Середина MK_1^2 установлена в южной части Красноленинской мегамоноклизы (Нижнеомская). Близкий уровень зрелости ОВ выявлен на локальном участке в районе Тевризской и Журавлевской площадей. Субмеридиональная полоса подобной преобразованности выделяется на юге Колтогорско-Нюрольского желоба. Здесь на Никольской, Раздельной, Рифтовой и Успенской площадях уровень зрелости ОВ отвечает началу—середине MK_1^2 , а на Воробьевской и Игольской — концу этой градации. С той же интенсивностью преобразовано ОВ северо-западнее Колтогорско-Нюрольского желоба (Сапрыкинская, Ягылъяхская и Туйская площади Верхнедемьянского мегавала).

Узкая зона градации MK_1^2 выявлена на западе Межовского мегамыса, где на Веселовской и Елаской площадях зафиксировано начало MK_1^2 , а на Ургульской и Тартаской — середина—конец этой градации. Сравнительно широкая субмеридиональная полоса такого катагенеза протягивается от восточной части Межовского мегамыса до Парабельского мегавала. На юго-востоке первой структуры (Новотроицкая, Западно-Калгачская, Южно-Тарская, Тайдаская) уровень зрелости ОВ отвечает началу MK_1^2 . В северном направлении преобразованность ОВ усиливается и на Верхнекенгской, Пограничной, Пешковской и Ракитинской площадях достигает середины—конца этой градации. Начало MK_1^2 зафиксировано севернее Межовского мегамыса (Таволгинская). Эта единая зона (середина MK_1^2) охватывает север Калгачского мегавала (Болтная, Олимпийская, Казанская). Начало этой градации установлено на Сомовской, Верхнекомбарской, Горелоярской, Пинджинской и Чинжарской площадях в восточной части Чузикско-Чижапской мезоседловины. Близкий катагенез (начало—середина MK_1^2) выявлен на юго-западе Парабельского мегавала (Западно-Сильгинская, Белоярская, Крыловская, Сенькинская) и северо-западе Северо-Парабельской мегамоноклинали (Соболиная, Гураинская, Ясная, Ураловская, Каргин-

ская, Тибинакская, Можанская). Сильнее преобразовано ОВ (конец $МК_1^2$) на Поскоевской и Торцовой площадях Парабельского мегавала.

Эта единая зона катагенеза охватывает значительную (в основном южную) часть Усть-Тымской мегавпадины. Здесь на одних площадях (Лесная, Лысогорская, Косальская, Лымжинская, Толпаровская) уровень зрелости ОВ отвечает началу—середине $МК_1^2$, на других (Рабочая, Западно-Тымская, Вертолетная, Чунжельская) — концу этой градации. Начало $МК_1^2$ установлено в смежных районах Караминской мегаседловины (Тунгольская, Траверсная, Киевъеганская) и Пайдугинского мегавала (Семиречная). Эта зона катагенеза (начало $МК_1^2$) от Усть-Тымской мегавпадины продолжается на северо-запад, охватывая север Среднеvasюганского мегавала и смежные с ним участки (Головная, Среднеvasюганская, Кильсинская, Сутыгинская, Чкаловская, Полонская, Передовая площади). С той же интенсивностью изменено ОВ на юго-востоке Александровского свода (Полуденная, Назинская, Ноябрьская, Кондаковская). Небольшая субмеридиональная полоса такого катагенеза выявлена на севере этой структуры и смежных районах. Здесь на Охтеурьевской, Коликъеганской и Пермьяковской площадях установлено начало $МК_1^2$, а на Воскресенской — конец этой градации.

На значительной территории Колтогорско-Нюрольского желоба и, частично, на смежных структурах установлен уровень зрелости ОВ в пределах градации $МК_1^2$. В южной части желоба (восток Нюрольской мегавпадины) катагенез начала—середины $МК_1^2$ выявлен на Чагвинской, Южно-Фестивальной, Фестивальной, Северо-Фестивальной, Моисеевской, Южно-Моисеевской и Поселковой площадях, а конец этой градации — на Тамрадской, Налимьей, Поньжевой, Федюшкинской, Чворовой и Угольной. Продолжаясь на север, эта зона (начало—середина $МК_1^2$) охватывает западную часть Среднеvasюганского мегавала (Пуглальмская, Ключевская, Речная, Южно-Мыльджинская, Гужихинская). Западнее мегавала градация $МК_1^2$ занимает практически полностью Черемшанскую мезоседловину, где на одних площадях (Столбовая, Приколтогорская, Саймовская, Малореченская, Южно-Соснинская) зафиксировано начало этой градации, а на других (Глухарина, Южно-Ельцовая, Черемшанская, Грушевая, Полуденная) — середина $МК_1^2$. Близкая преобразованность выявлена на западе Каймысовского свода, где на большинстве разведочных площадей (Волковская, Лонтынгахская, Дуклинская, Первомайская, Озерная, Весенняя, Аэросейсмическая, Оленья) ОВ достигло начала—середины $МК_1^2$ и только на Катыльгинской — конца этой градации. Эта единая зона катагенеза (середина $МК_1^2$) охватывает восточную часть Северо-Демьянской мегамоноклинали (Медвежья, Ледовая, Чистинная, Тайлаковская, Яккуньянская, Северо-Ютымская).

Преобразованность ОВ градации $МК_1^2$ зафиксирована практически на всей территории Мансийской синеклизы, за исключением Салымского района. На юго-востоке этой структуры (Юганская, Южно-Юганская, Айкурусская, Западно-Угутская) установлена середина—конец $МК_1^2$. Эта зона катагенеза охватывает смежные районы Хантейской гемиантеклизы (Ачимовская, Малоюганская, Южно-Киньяминская). На северо-востоке Мансийской синеклизы (Лартельская, Лульяхская, Ефремовская, Западно-Фаинская, Асомкинская, Энтельская, Западно-Асомкинская) преобразованность несколько ниже и не превышает начала—середины этой градации. С той же интенсивностью изменено ОВ в соседних районах Хантейской гемиантеклизы (Восточно-Сургутская, Мамонтовская, Среднебалыкская, Малобалыкская). По мере приближения к Салымскому району с повышенным геотермическим режимом катагенез нарастает и на Заболотной, Северо-Чупальской, Туканской, Киевской площадях достигает конца $МК_1^2$. В западной части Мансийской синеклизы (Северо-Демьянская, Среднешапшинская) и смежных районах Красноленинской мегамоноклизы (Западно-Кальчинская, Фроловская) уровень зрелости ОВ отвечает началу $МК_1^2$. В северном направлении катагенез нарастает и на Приразломной, Приобской, Горшковской и Тундринской площадях Мансийской синеклизы достигает конца этой градации. Продолжаясь западнее, эта зона катагенеза охватывает значительную часть Красноленинской мегамоноклизы. Здесь на большинстве площадей (Ханты-Мансийская, Западно-Фроловская, Галяновская, Южно-Галяновская, Восточно-Елизаровская, Сынъеганская, Емангальская, Среднеазымская, Верхнелыминская, Апрельская, Поттымская, Ингинская, Сосновомысская) ОВ преобразовано до начала $МК_1^2$ и только на Малоатлымской, Южно-Ольховской, Верхнеазымской и Емъеговской — до середины этой градации.

Подобная преобразованность ОВ широко распространена в Южно-Надымской мегамоноклизе. В ее юго-западной части на большинстве площадей (Айпимская, Нижнесортымская, Верхнелунгорская) уровень зрелости ОВ отвечает началу $МК_1^2$ и только на Июльской — середине этой градации. С той же интенсивностью изменено ОВ на севере Южно-Надымской мегамоноклизы (Нгарская, Восточно-Лакъюганская, Среднекиртыгорская) и в смежных районах Надымской гемисинеклизы (Северо-Соколиная, Южно-Хулымская, Малохеттинская). Эта зона прослеживается далее на север и охватывает практически полностью Медвежье-Нугинский мегавал. Здесь на Лензитской, Ньдинской и Сандибинской площадях уровень зрелости ОВ отвечает началу $МК_1^2$, а на Западно-Медвежьей, Медвежьей и Танусалинской — середине—концу этой градации. Эта зона катагенеза занимает юго-западную часть Восточно-

Пайхойской моноклизы. На юге этой структуры (Новопортовская) ОВ преобразовано до начала МК₁². К северу уровень зрелости ОВ усиливается и на Среднеямальской, Нейтинской, Бованенковской площадях достигает конца этой градации. Судя по результатам математического моделирования, градация МК₁² охватывает западные окраины Припайхойского выступа и Северо-Карской моноклизы.

В центре Южно-Надымской мегамоноклизы (Холмогорская, Итурская, Коллективная, Южно-Пякутинская, Крайняя, Сугмутская, Романовская, Умсейская) уровень зрелости ОВ отвечает середине МК₁². Северо-восточнее эта зона катагенеза полностью охватывает Северный свод (Новопурпейская, Муравленковская, Комсомольская, Западно-Пурпейская, Тыдеяхская) и смежные участки Пякупурско-Ампутинского мегапрогиба (Западно-Новогодняя, Ортъягунская, Выинтойская, Ноябрьская, Западно-Вынгапуктинская). На юго-востоке Южно-Надымской мегамоноклизы (Западно-Варьеганская, Ватъеганская, Южно-Ватъеганская, Усть-Котухтинская, Южно-Сардаковская, Валюнинская, Большекотухтинская, Западно-Котухтинская, Пограничная, Холмогорская) уровень зрелости отвечает концу МК₁². С той же интенсивностью изменено ОВ на северо-востоке этой структуры (Северо-Тагринская, Ярайнерская, Северо-Вынгапуровская, Западно-Вынгапуровская, Новогодняя, Етыпурская, Айваседопурская). Эта зона катагенеза продолжается на юг, охватывая смежные районы Хантейской гемиянтеклизы. Здесь на большинстве разведочных площадей (Нивагальская, Поточная, Родниковая, Покачевская, Восточно-Придорожная, Курраганская, Кечимовская, Равенская, Западно-Сорымская, Западно-Тевлинская, Ларкинская) ОВ преобразовано до начала МК₁², а на Восточно-Ягунской, Кустовой, Рославльской, Восточно-Сардаковской, Дружной, Южно-Ягунской и Когалымской — до середины—конца этой градации.

На востоке Западно-Сибирского мегабассейна градация МК₁² полностью занимает Восточно-Пурскую мегамоноклиналь (Харампурская, Равнинная, Тэрэльская), смежные районы Красноселькупской моноклизы (Бахиловская, Холмистая, Верхнетолькинская, Кыпакынская, Черничная, Термокарстовая) и значительную часть Среднепурского мегажелоба (Северо-Тагринская, Саемтахская, Стахановская, Иохтурская, Западно-Харампурская, Ханчейская). На этой обширной территории уровень зрелости ОВ отвечает началу—середине МК₁². С той же интенсивностью преобразовано ОВ в прилегающих районах Варьеганско-Тагринского мегавыступа (Тагринская, Западно-Тагринская, Варьеганская, Новомолодежная, Ершовая). Эта зона почти полностью охватывает Часельский мегавал (Верхнечасельская, Кынская, Хадырьяхинская, Южно-Русская), частично смежные районы Восточно-Тазовской и Долганской мезомоноклиналей (Сузунская, Ванкорская), Тазовского мегазалива (Красноселькупская), Большехетской мегасинеклизы (Заполярная, Тазовская, Геологическая). На крайнем северо-востоке мегабассейна аналогичный катагенез (начало—середина МК₁²) выявлен на окраинах Енисей-Хатангского регионального прогиба (Соленинская, Ушаковская, Турковская, Яровская, Паютская, Дерябинская, Озерная). По результатам математического моделирования предполагается, что эта зона продолжается на север, охватывая частично Гыданский и Северо-Гыданский мегавыступы, Южно-Карскую мегаседловину и другие структуры.

Органическое вещество, достигшее градации МК₂ ($R_{v1}^o = 0.85—1.15\%$), характерно преимущественно для северных районов мегабассейна, а в центральных и южных такой катагенез выделяется на сравнительно небольших участках. На крайнем юге Нюрольско-Колтогорского желоба (Сергеевская, Орловская площади) ОВ преобразовано до середины—конца этой градации. В центральной части желоба (Северо-Черталинская, Поньжевая, Кузырская, Верхнезаячь) ОВ изменено несколько слабее и отвечает началу МК₂ и только на Глуховской площади — середине этой градации. С той же интенсивностью преобразовано ОВ в Салымском районе Мансийской синеклизы. Здесь на Салымской, Верхнесалымской и Восточно-Салымской площадях установлено начало МК₂, а на Нижнешапшинской, Удачной и Лемпинской — середина этой градации. Сравнительно небольшой субмеридиональный блок пород такой преобразованности выделяется в центральной части Красноленинской мегамоноклизы. Здесь на Каменной, Айторской, Пальяновской и Лебяжьей площадях уровень зрелости ОВ отвечает середине МК₂, а на Елизаровской — началу этой градации.

Уровень зрелости ОВ градации МК₂ широко развит на территории Ямало-Ненецкого автономного округа. Небольшие участки такого катагенеза (конец МК₂) выявлены на юго-востоке Надымской гемисинеклизы (Южно-Ярайнерская, Вэнгайхинская, Губкинская, Западно-Таркосалинская) и в прилегающих районах Среднепурского мегажелоба (Южно-Таркосалинская). На северо-западе гемисинеклизы подобная преобразованность ОВ установлена на Самородской, Западно-Луцеяхской, Восточно-Халыкинской и Пангодинской площадях. Эта зона катагенеза продолжается на север, охватывая значительную (центральную и юго-западную) часть Большехетской мегасинеклизы. Здесь начало МК₂ выявлено на Евояхинской, Ярояхинской, Тюменской (скв. СГ-6), Юбилейной, Дальней, Нижнехадытинской, Харвутинской и Есетинской площадях, а середина—конец этой градации — на Самбургской, Северо-Пуровской, Песцовой, Южно-Песцовой, Ямбургской, Юрхаровской, Тояхской, Салекаптской и Северо-Уренгойской. Юго-восточнее Большехетской мегасинеклизы эта зона почти полностью охватывает

Среднепурский мегавал, где на Южно-Пырейной, Северо-Часельской и Русско-Северочасельской площадях зафиксировано начало МК₂, а на Таркосалинской и Восточно-Таркосалинской — конец этой градации. Градация МК₂ узкой полосой от Большехетской мегасинеклизы протягивается на север, занимая частично Восточно-Пайхойскую моноклизу (Каменно-Мысская, Арктическая, Крузенштерновская). Согласно прогнозу, эта зона продолжается на север, охватывая частично Припайхойский выступ, Северо-Карскую моноклизу, Северную мегаседловину и Северо-Карскую мегавпадину. Градация МК₂ установлена на территории, включающей частично Бованенковско-Нурминский мегавал, Тадебеяхинский мегапрогиб и Южно-Карскую мегаседловину. Здесь на всех площадях (Северо-Тамбейская, Южно-Тамбейская, Западно-Тамбейская, Северо-Сеяхинская, Восточно-Бованенковская, Геофизическая) установлен конец этой градации.

Крупный блок пород подобной преобразованности выделяется на крайнем северо-востоке Большехетской мегасинеклизы, в смежных районах Долганской мезомоноклинали и Тазовского мегазалива. Здесь практически на всех разведочных площадях (Промысловая, Южно-Сидоровская, Тагульская, Лодочная, Хальмерпаютинская) уровень зрелости ОВ отвечает середине МК₂ и только на Мангазейской фиксируется переходное состояние между градациями МК₂ и МК₃¹. Эта зона катагенеза занимает обширную территорию на северо-востоке Западно-Сибирского мегабассейна, охватывая частично Антипаютинско-Тадебеяхинскую мегасинеклизу, Восточно-Антипаютинскую и Енисейскую мегавпадины, Гыданский мегавыступ, Среднегыданский мегаврез, Южно-Таймырскую мегамоноклинали и другие структуры. Здесь на большинстве разведочных площадей (Пайяхская, Береговая, Южно-Носковская, Тотаяхинская, Семаковская, Гыданская) уровень зрелости ОВ отвечает концу МК₂ и только на Среднеярской, Нанадянской — середине этой градации. Предполагается, что эта зона продолжается на север, занимая частично Восточно-Пайхойскую моноклизу и почти полностью Северо-Карскую мегавпадину.

Высокопреобразованное органическое вещество (градации МК₃¹—АК₂) характерно для северных и арктических районов мегабассейна. В связи с тем, что здесь среднеюрские толщи залегают на значительных глубинах и вскрываются небольшим количеством скважин, то на ряде структур эти градации катагенеза выделяются только по результатам математического моделирования. Крупный участок с уровнем зрелости ОВ начала МК₃¹ ($R_{vt}^o = 1.20—1.24 \%$) выявлен в северной части Надымской гемисинеклизы (Надымская, Хейгинская, Марьянская). Согласно прогнозу, эта зона почти полностью охватывает Верхнетанловскую мегавпадину. Небольшие участки такого катагенеза предполагаются на западе Нерутинской мегавпадины и юге Большехетской мегасинеклизы. Эта градация (начало МК₃¹) занимает обширную территорию на севере последней структуры (Еньяхинская, Находкинская, Парусовая площади). Продолжаясь на север, эта зона катагенеза частично охватывает Антипаютинско-Тадебеяхинскую мегасинеклизу, Восточно-Пайхойскую моноклизу и Карскую мегасинеклизу. На этой территории (Ханавейская, Новолунная, Утренняя, Штормовая, Северо-Мальгинская, Сядорская, Харасавэйская площади) органическое вещество более преобразовано и достигает середины—конца МК₃¹ (1.30—1.45 %). Локальные участки такого катагенеза выделяются в районе Мангазейской и Туколандо-Вадинской площадей. По результатам математического моделирования уровень зрелости ОВ градации МК₃¹ предполагается на значительной части Агапского мегапрогиба, Восточно-Антипаютинской мегавпадины.

Преобразованность органического вещества градации МК₃² ($R_{vt}^o = 1.55—2.00 \%$) выделяется на небольших участках Большехетской мегасинеклизы, Антипаютинско-Тадебеяхинской мегасинеклизы, Агапского мегапрогиба, Восточно-Пайхойской моноклизы, Карской мегасинеклизы. Отражательная способность витринита ($R_{vt}^o = 1.76—1.86 \%$, середина МК₃²) на этих структурах определена лишь на Трехбугорной, Восточно-Бугорной и Мальгинской площадях. Уровень зрелости ОВ градации АК₁ ($R_{vt}^o = 2.20—2.50 \%$) установлен только на Тарминской и Леоновской площадях Карской мегасинеклизы. По результатам математического моделирования подобный катагенез предполагается на локальных участках Большехетской и Антипаютинско-Тадебеяхинской мегасинеклиз, Агапско-Енисейского желоба, а более высокая преобразованность ОВ (градация АК₂, $R_{vt}^o > 2.50 \%$) — в центре Южно-Карской мегавпадины.

ВЫВОДЫ

Изложенные материалы свидетельствуют, что распределение зон разной преобразованности ОВ по территории мегабассейна — типичный случай регионального катагенеза. Установленная много лет назад А.Э. Конторовичем с соавторами [1967б, 1975] закономерность усиления уровня зрелости ОВ от периферии к центральным и арктическим районам Западной Сибири по мере погружения толщ осадочного чехла подтверждается и новыми данными. На окраинах региона отложения не погружались на значительные глубины в зоны высоких температур и давлений и поэтому ОВ слабо преобразовано (градации ПК₃—МК₁¹). К тому же здесь довольно древний возраст консолидации фундамента: на востоке и

северо-востоке — добайкальский, на юго-востоке — байкальский и раннекаледонский, на юго-западе — каледонский, т. е. к моменту формирования платформенного чехла тепловой поток из фундамента существенно снизился. По направлению к центральным районам катагенез постепенно нарастает (градации $МК_1^2$ — $МК_2$) и достигает максимума на севере ($МК_3^1$ — $АК_{1-2}$), где отложения погружались на значительные глубины в зоны жестких термобарических условий. В целом уровень зрелости ОВ в юрских отложениях Западно-Сибирского мегабассейна определяется глубинами погружения осадочных толщ и, соответственно, максимальными температурами, которым они подвергались в этот период. Эти факторы, контролирующие особенности температурного поля, а следовательно, и уровень зрелости ОВ в отложениях осадочного чехла Западной Сибири являются глобальными. На этот региональный фон накладывается, усложняя его, возрастание тепловых потоков в зонах глубинных разломов и в районах развития магматических тел, которых в подстилающих палеозойских и триасовых толщах довольно много. В большинстве случаев над магматическими массивами отмечается повышенный тепловой поток и геотермический градиент (4.0—5.0 °C/100 м, а на остальной территории обычно 2.5—3.0 °C/100 м), что отразилось в усилении катагенеза ОВ среднеюрских отложений на этих участках (Красноленинский, Салымский, Колтогорский). Так, в Колтогорском прогибе в скв. Черемшанская-1 на глубине порядка 3.0 км пластовая температура составляет 157 °C.

Автор искренне благодарен за постановку задачи и постоянное внимание к изучению преобразования органического вещества осадочных отложений Сибири академику РАН А.Э. Конторовичу, а также ушедшим из жизни сотрудникам института д.г.-м.н. В.О. Красавчикову и научному сотруднику А.В. Истомину за компьютерную обработку данных по отражательной способности витринита и построение карт катагенеза органического вещества по разным стратиграфическим горизонтам юры и мела.

ЛИТЕРАТУРА

Аммосов И.И., Горшков В.И., Гречишников Н.П., Еремин И.В., Прянишников В.К., Степанов Ю.В. Петрология органических веществ в геологии горючих ископаемых. М., Наука, 1987, 336 с.

Бостриков О.И., Фомичев А.С. Распределение и катагенез органического вещества нижнеюрских отложений Западной Сибири // Геология и нефтегазоносность триас-среднеюрских отложений Западной Сибири. Новосибирск, СНИИГГиМС, 1991, с. 84—91.

Губкин И.М. Учение о нефти. Третье издание. М., Наука, 1975, 384 с.

Ермаков В.И., Скоробогатов В.А. Новые данные о катагенетической превращенности органического вещества базальных горизонтов осадочного чехла северных районов Западно-Сибирской плиты // Докл. АН СССР, 1990, т. 314, № 5, с. 1197—1201.

Конторович А.Э., Парпарова Г.М., Трушков П.А. Метаморфизм органического вещества и некоторые вопросы нефтегазоносности (на примере мезозойских отложений Западно-Сибирской низменности) // Геология и геофизика, 1967а, (2), с. 16—29.

Конторович А.Э., Бабина Н.М., Богородская Л.И., Винокур Б.Г., Зимин Ю.Г., Колганова М.М., Липницкая Л.Ф., Луговцов А.Д., Мельникова В.М., Парпарова Г.М., Рогозина Е.А., Стасова О.Ф., Трушков П.А., Фомичев А.С. Нефтепроизводящие толщи и условия образования нефти в мезозойских отложениях Западно-Сибирской низменности. Л., Недра, 1967б, 223 с.

Конторович А.Э., Нестеров И.И., Салманов Ф.К., Сурков В.С., Трофимук А.А., Эрвье Ю.Г. Геология нефти и газа Западной Сибири. М., Наука, 1975, 680 с.

Конторович А.Э., Фомин А.Н., Красавчиков В.О., Истомин А.В. Катагенез органического вещества в кровле и подошве юрского комплекса Западно-Сибирского мегабассейна // Геология и геофизика, 2009, т. 50 (11), с. 1191—1200.

Лопатин Н.В., Емец Т.П. Новые данные о катагенезе глубокопогруженных юрских отложений Уренгойского района // Докл. АН СССР, 1984, т. 279, № 4, с. 954—958.

Парпарова Г.М., Неручев С.Г., Жукова А.В., Трушков П.А., Баженова Т.К., Буряк В.Н., Дьяконов А.И., Зеличенко И.А., Калмыков Г.С., Котов В.С., Кобахидзе А.Д., Лебедев Б.А., Лебедева Г.В., Макаров К.К., Рогозина Е.А., Соболев В.С., Чичуа Б.К., Шуменкова Ю.М. Катагенез и нефтегазоносность. Л., Недра, 1981, 240 с.

Ровенская А.С., Немченко Н.Н. Раздельный прогноз и формирование углеводородных систем. М., Наука, 1989, 128 с.

Фомин А.Н. Катагенез и перспективы нефтегазоносности юрских и доюрских отложений Красноленинского свода // Геология и геофизика, 1992, (6), с. 19—24.

Фомин А.Н. Катагенез и перспективы нефтегазоносности глубокозалегающих мезозойских и палеозойских толщ Западно-Сибирской плиты // Китайско-русский симпозиум по нефтегазоносности палеозоя и протерозоя. Пекин, Китайская нефтяная корпорация, 1995, с. 137—157.

Rogers H.D. Coal and petroleum // Harpers new monthly Mag., 1863, v. 27, p. 817—828.

White D. Some relations in origin between coal and petroleum // J. Waschingon Acad. Sci., 1915, v. 5, p. 189—212.

*Поступила в редакцию
20 июля 2016 г.*