

УДК 550. 4:552.57/58(571.1)

ТРАНСФОРМАЦИЯ В КАТАГЕНЕЗЕ СОСТАВА И СТРУКТУРЫ НЕРАСТВОРИМОГО ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ГЛУБОКОПОГРУЖЕННЫХ ЮРСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ НА СЕВЕРЕ ЗАПАДНО-СИБИРСКОГО БАССЕЙНА

© 2022 г. Л. С. Борисова^{1,2,*}, А. Н. Фомин^{1,2}, Е. С. Ярославцева¹

¹ Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, Новосибирск, 630090 Россия

² Новосибирский государственный университет, Новосибирск, 630090 Россия

* E-mail: BorisovaLS@ipgg.sbras.ru

Поступила в редакцию 27.04.2021 г.

После доработки 21.05.2021 г.

Принята к публикации 29.12.2021 г.

На примере изучения глубоких скважин (Тюменская СГ-6, Уренгойская, Еньяхинская, Евояхинская, Ярудейская и др.) севера центральной части Западно-Сибирского бассейна прослежено изменение элементного и структурно-группового составов в ходе катагенеза керогена юрских толщ, представленного нерастворимой в органических растворителях частью органического вещества пород. С ростом катагенеза вниз по разрезу от верхнеюрских к нижнеюрским отложениям происходит направленная карбонизация состава керогенов: снижение атомного отношения Н/С от 1.2 в мезокатагенезе до 0.5 в апокатагенезе. Используемая в работе диаграмма Р. Rouxhet и Р. Robin обратной зависимости (Н/С_{ат}) от отражательной способности витринита подтверждает это. В строении керогена с ростом катагенеза происходит увеличение доли ароматических структур и снижение содержания алифатических и кислородсодержащих групп.

Ключевые слова: кероген, состав и структура, юрские отложения, север Западно-Сибирского мегабассейна.

DOI: 10.53392/27823857-2022-2-1-72, EDN: FZTOGV

Сравнительно хорошая изученность верхних горизонтов мезозойско-кайнозойского осадочно-го чехла Западно-Сибирского мегабассейна делает весьма актуальным поиск залежей углеводородов (УВ) в его глубокозалегающих толщах. Это является одной из актуальных задач нефтидогенеза и заключается в обосновании нижней границы распространения УВ скоплений в жестких термобарических условиях. От решения этой проблемы во многом зависит выбор направлений геологоразведочных работ, формирование долгосрочной стратегии развития нефтегазового комплекса Западной Сибири. Однако оценки нефтегазоносности этих горизонтов весьма противоречивы и являются предметом острых дискуссий уже в течение нескольких десятилетий. Довольно хорошо изучено изменение различных параметров рассеянного органического вещества (РОВ) до глубин 4.0–4.5 км, т.е. в пределах главной зоны нефтеобразования (ГЗН), с которой связано подавляющее большинство разведанных нефтяных залежей региона. Ниже сведения о геохи-

мических особенностях строения керогена в жестких термобарических условиях весьма ограничены. Его изучение в зоне апокатагенеза стало возможным благодаря пробуренным в северных районах Западно-Сибирского мегабассейна серии глубоких скважин, в том числе Тюменской сверхглубокой (СГ-6) [1–5].

В процессе катагенеза происходят наиболее глубокие направленные изменения состава и химической структуры органического вещества (ОВ) [1, 2, 6, 7]. Детальные исследования геохимических свойств нерастворимой составляющей ОВ (керогена) проводились А. Э. Конторовичем и Л. И. Богородской с 70-х гг. прошлого столетия, что позволило им разработать критерии диагностики генетического типа ОВ и степени его преобразованности [8]. Структуру керогена в те годы изучали также Е. А. Глебовская, И. А. Шакс и Е. М. Файзуллина [9, 10]. Исследованию состава и структуры керогена большое внимание уделяется и в последние годы [11–14]. Материал из глубоких скважин севера Западно-Си-

бирского бассейна позволил авторам настоящей работы проследить особенности строения керогена юрских отложений с ростом катагенеза. Исходя из выше изложенного, цель работы — выявить закономерности изменения элементного и структурно-группового состава керогена в зависимости от его исходного типа и зрелости.

Экспериментальная часть

Объект исследования — нерастворимое ОВ (кероген) пород, отобранных из глубоких скважин центральных районов севера Зап. Сибири (Тюменская СГ-6, Еньяхинская-501, Евояхинская-356, Уренгойская-414, Таркосалинская-299, Восточно-Бованенковская-10, Медвежья-1001, Харасавейская-103, Новопортовская-88 и др.), наиболее полно вскрывших юрский разрез исследуемой территории. В работе изложены результаты изучения 44 керогенов из пород с глубин 3209–6410 м.

В лаборатории геохимии нефти и газа по схеме, принятой в ИНГГ СО РАН [15], из образцов пород после экстракции битумоидной составляющей ОВ, растворения минерального осадка плавиковой и соляной кислотами, а также удаления элементарной серы, получен кероген [8, 16]. В настоящей работе из глубокопогруженных юрских отложений центральных районов севера Западной Сибири изучен элементный и структурно-групповой состав керогенов. Элементный состав (С, Н, S, N) определяли микрометодом скоростного сжигания в быстром токе кислорода из одной навески на элементном анализаторе EA 1110 (CE Instruments, Italia). Величина относительной погрешности в среднем составляет: С ± 0.3%, Н ± 0.1%, S ± 0.2%, N ± 0.1. Аналитическим путем было определено содержание углерода, водорода, азота и серы, кислород рассчитан по разности из 100%. Важным геохимическим параметром состава и структуры является атомное отношение водорода и углерода (Н/С_{ат}).

Структура керогена на качественном и полуквантовом уровне изучена на ИК-Фурье спектрометре Nicolet 5700 (Thermo Electron Corporation, USA), который позволяет получать информацию об его усредненной структурно-групповой характеристике. Отнесение полос поглощения проводили с использованием литературных источников [9, 10].

Область ИК-поглощения 400–4000 см⁻¹, выбранная для анализа, характеризуется колебаниями различных структурных групп: ароматических, алифатических, карбонильных, гидроксильных, карбоксильных и других. Интенсивность полос поглощения, выражаемая значением оптической плотности при данной длине волны, пропорциональна

количественному содержанию данных структурных групп. Для исследованных керогенов на ИК-спектрах наблюдаются следующие основные полосы поглощения [8–10]:

— полоса поглощения 1465 см⁻¹ соответствует валентным колебаниям СН₃- и СН₂-групп в ациклических и циклических структурах, и полоса 1378 см⁻¹, относящаяся только к СН₃-группам;

— широкая полоса с максимумом около 1600 см⁻¹, которая свидетельствует о наличии главным образом ароматических связей С—С, частично — с особыми типами групп С—О (мостиковые, хиноидные);

— в области поглощения 2000–3500 см⁻¹ фиксируется уширенная полоса поглощения средней интенсивности на 3060 см⁻¹, отвечающая колебаниям СН-групп в ароматических структурах, а также интенсивные полосы поглощения метиленовых и метильных групп: 2859, 2870, 2920, 2957 см⁻¹;

— серия слабых полос в диапазоне 900–700 см⁻¹, которые связаны с внеплоскостными колебаниями различных ароматических СН-групп и зависят от числа соседних протонов;

— в интервале 1690–1740 см⁻¹ поглощение соответствует валентным колебаниям С=О кислородсодержащих соединений и свидетельствует о присутствии кислот и ароматических эфиров (1700 см⁻¹);

— широкая асимметричная полоса с максимумом около 3430 см⁻¹, соответствующая группам ОН (фенольные, спиртовые, карбоксильные гидроксилы); связанную воду не оценивали.

Как известно, направленность катагенных изменений керогена такова [8–10]: происходит убывание общего количества кислородных соединений и относительное возрастание ароматических структур в его составе. Для количественной оценки роли ароматических и кислородсодержащих структур рассчитаны спектральные коэффициенты: $K_1 = D_{1600}/D_{1465}$ и $K_2 = D_{1700}/D_{1600}$, отражающие соответственно относительное содержание в керогенах конденсированных ароматических и алифатических структур и сложных эфиров [17]. Снижение относительного содержания сернистых соединений с ростом катагенеза [8] в данной работе не обсуждается из-за недостаточно четкого разрешения полос поглощения в области 1000–1100 см⁻¹.

Для выявления основных генетических типов ОВ и трансформации их структуры с глубиной данные элементного анализа керогена были нанесены на катагенетическую эволюционную модель, разработанную А. Э. Конторовичем и Л. И. Богородской (1985–1990 гг.) [8]. Модель представляет собой тригонограмму, отражающую особенности элемент-

ного состава керогена аквагенного и террагенного ОВ, а также градации катагенеза с соответствующими значениями отражательной способности витринита.

Результаты и их обсуждение

По результатам элементного анализа изученных керогенов нижнеюрских и среднеюрских отложений севера Западно-Сибирского бассейна основная часть образцов на тригонограмме С–Н–N–S–O [8] расположилась в поле ОВ террагенного типа (рис. 1), однако единичные из китербютского, вымского и

малышевского горизонтов заняли промежуточное положение между аквагенным и террагенным ОВ, что указывает на их смешанный генетический тип [18]. По данным элементного состава керогенов верхнеюрских отложений ОВ баженовской свиты имеет типично аквагенное происхождение [7], а васюганской и точинской — преимущественно континентальный генезис.

Детальное изучение уровня зрелости ОВ юрских толщ по отражательной способности витринита (R_{vt}^0) позволило проследить изменение этого параметра по территории исследования, а также по разрезу указанных выше скважин [1]. В верхних

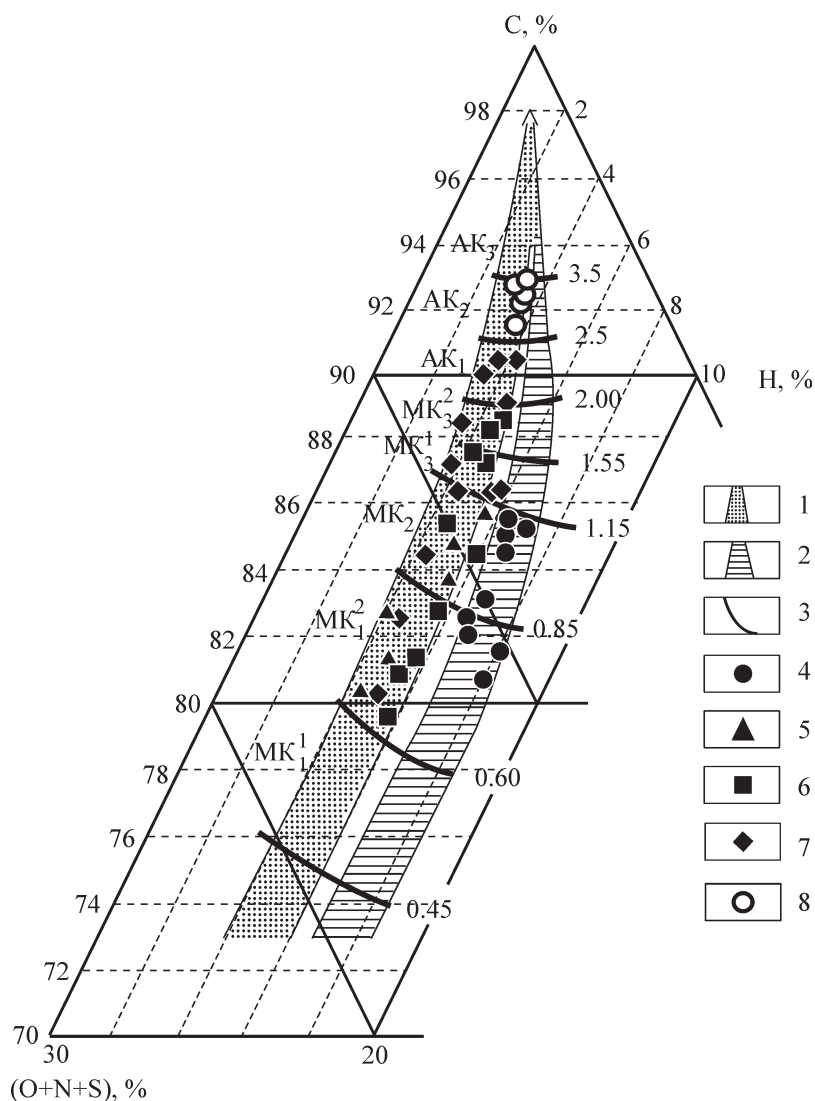


Рис. 1. Тригонограмма элементного состава керогена ОВ юрских отложений северных территорий Западно-Сибирского бассейна. Образцы нанесены на модель эволюции элементного состава керогена основных генетических типов в катагенезе, разработанную А. Э. Конторовичем и Л. И. Богородской (1985–1990 гг.) [8].

Поля эволюции элементного состава: 1 — угли и керогена террагенного типа; 2 — керогена аквагенного типа; 3 — границы зон катагенеза; цифрами обозначены значения R_{vt}^0 .

Возраст отложений: верхнеюрские (4 — баженовская свита; 5 — васюганская, точинская, георгиевская свиты); 6 — среднеюрские; 7 — нижнеюрские; 8 — триасовые отложения.

горизонтах юры R_{vt}^0 (0.50–1.1%) свидетельствует о преобразованности ОВ в пределах градаций MK_1^1 - MK_2 (обозначения по А. Э. Конторовичу). В кровле средней юры ОВ изменено несколько сильнее — до градаций MK_1^2 - MK_3^1 (R_{vt}^0 — 0.50–1.32%), а в наиболее погруженных районах — до MK_3^2 (R_{vt}^0 — 1.81%). Нижнеюрские отложения, залегающие на значительных глубинах, претерпели более существенные преобразования — до градаций MK_1^2 - AK_1 (R_{vt}^0 — 0.65–2.33%). Изменения уровня зрелости ОВ юрских отложений по территории носят типично региональный характер — слабый и умеренный катагенез отмечается на бортах бассейна, а высокий — в наиболее погруженных его районах. Верхнеюрские и значительная часть среднеюрских отложений находятся в главной зоне нефтеобразования, и в них могли сохраниться как нефтяные, так и газовые залежи. Нижние горизонты юры, залегающие в основном на больших глубинах, испытали существенные преобразования и в них могли сохраниться преимущественно газовые скопления.

В работе [19] приведена диаграмма зависимости атомного отношения Н/С от отражательной способности витринита с выведенными экспериментальным путем эволюционными кривыми каждого из типов керогена. При нанесении на диаграмму параметров образцов керогена юрских отложений центральных районов севера Западно-Сибирского бассейна подтверждается морское происхождение ОВ баженовской свиты, для которой сравнительно высокое атомное отношение Н/С расположилось в области керогена II типа (рис. 2). Керогены верхнеюрских пород васюганской, сиговской, точинской свит могут быть отнесены к ОВ смешанного террагенного типа. Верхне- и среднеюрские толщи находятся в главной зоне нефтеобразования. Нижнеюрские и триасовые отложения содержат кероген с пониженным атомным отношением Н/С, что позволяет отнести его к III типу. Нижнеюрские отложения имеют высокую степень катагенетической преобразованности и находятся в зоне газообразования [3]. Уровень зрелости ОВ пород триасового возраста очень высок, оно находится на стадии апокатагенеза (рис. 2). Результаты элементного анализа авторов соотносятся с выводами работы [19] о существовании обратной зависимости элементного состава керогена (параметра Н/С_{ат}) от отражательной способности витринита.

На примере скв. Медвежья-1001 проведено сравнительное изучение структурных особенностей керогенов разного генетического типа (аквагенного — баженовской свиты, террагенного — тюменской), ОВ которых преобразовано примерно с одинаковой интенсивностью (градация MK_1^2). Спектральный

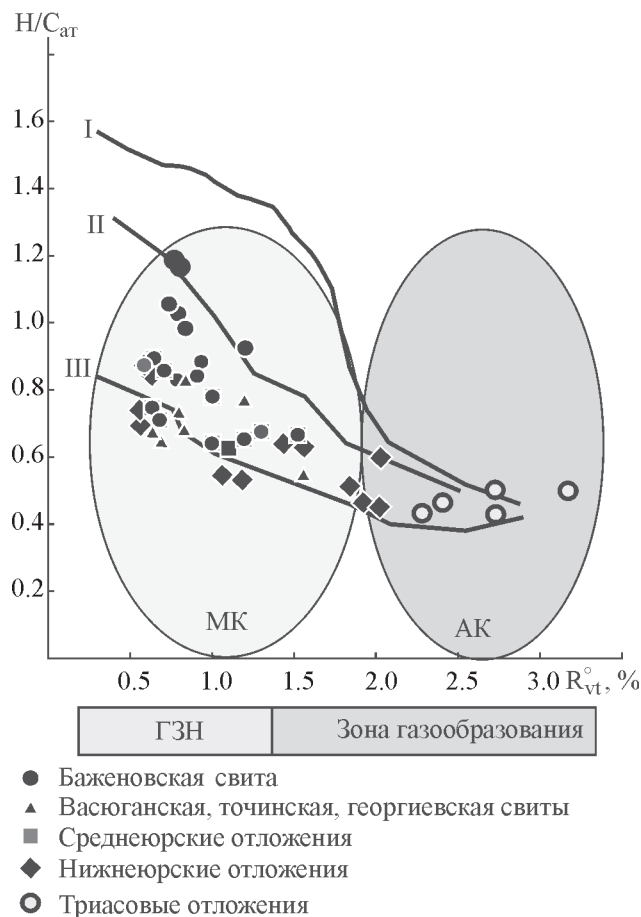


Рис. 2. Зависимость атомного отношения Н/С и отражательной способности витринита (R_{vt}^0) для трех типов керогена (I–III) [19].

коэффициент K_1 керогена баженовской свиты ниже, чем верхней подсвиты тюменской свиты (1.4 и 1.6 соответственно) (рис. 3): кероген террагенного типа характеризуется более высокой концентрацией ароматических структур, в то время как аквагенный кероген содержит больше алифатических структур, что соответствует их элементному составу [8]. При этом в последних сравнительно ниже и роль кислородсодержащих соединений, о чем можно судить по интенсивности полосы поглощения 1700 см^{-1} (рис. 3). Полученные авторами результаты на образцах из единого юрского разреза (Тюменской СГ-6, Еньяхинской-501, Евояхинской-356) подтверждают мнение [8, 10], что керогены отражают в своем строении различие между материалом сапропелевой (аквагенной) и гумусовой (террагенной) природы по содержанию фрагментов алифатических и ароматических молекул. Для сапропелитов характерно преобладание алифатических элементов (групп CH_2 , CH_3 , алифатических эфиров и др.), для гумитов — ароматических ($C=C$ -связи ароматических колец, ароматических производных). Количественную

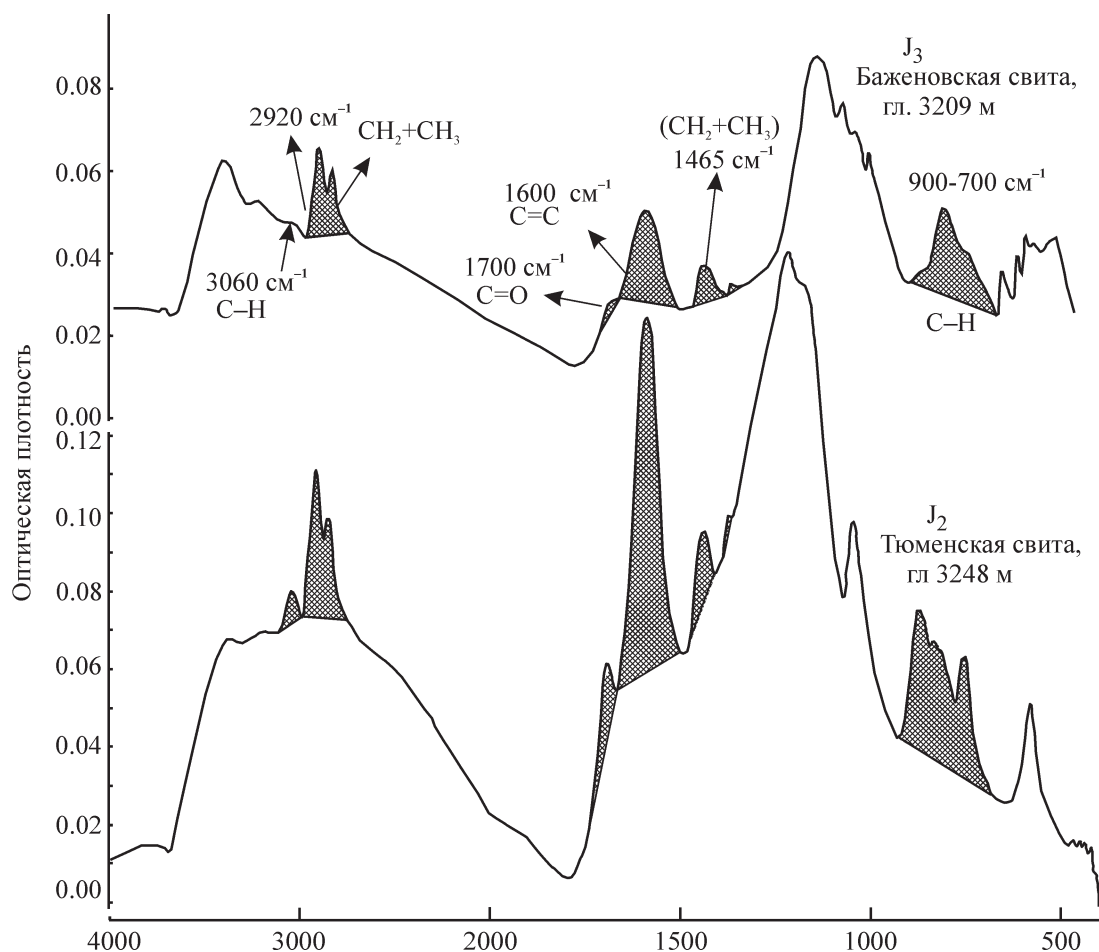


Рис. 3. Структурно-групповой состав керогена в юрском разрезе скв. Медвежья-1001.

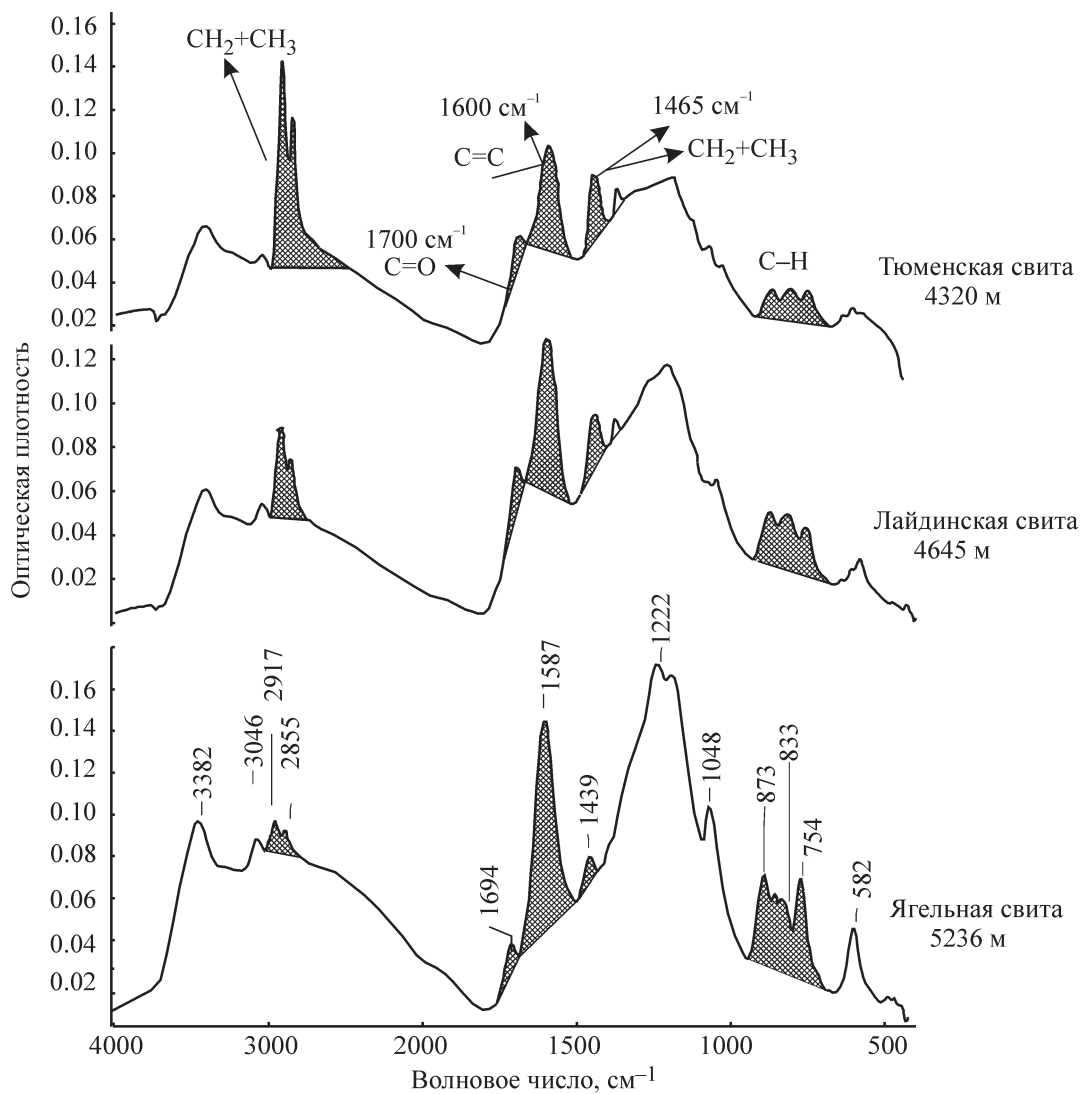
оценку K_2 не проводили из-за низкого содержания карбонильных групп и, соответственно, недостаточно четкого разрешения полосы 1700 см^{-1} в спектре баженовской свиты.

Для изучения изменения концентрации наиболее важных функциональных групп в химическом строении керогена в ходе катагенеза глубоких скважин Тюменская СГ-6 и Евояхинская-356 отобраны представительные образцы практически по всему юрскому разрезу. Полученные спектры керогенов использованы для иллюстрации процессов изменения структуры керогена с увеличением уровня зрелости ОВ (рис. 4 и рис. 5).

В пределах Евояхинской площади методом ИК-спектроскопии изучены керогены тюменской, лайдинской и ягельной свит, охватывающих диапазон градаций катагенеза от $МК_2$ до $МК_3^2$ (рис. 4) и имеющих одинаковый террагенный генезис. Полученные результаты свидетельствуют, что с увеличением глубины погружения и, соответственно, при повышении степени катагенеза от $МК_2$ до $МК_3^2$ спектральный коэффициент K_1 увеличивается почти в 1.7 раза. Содержание алифатических

групп в структуре керогена по мере зрелости падает, что отражается и на уменьшении интенсивностей полос поглощения 1465 см^{-1} и $2920\text{--}2850\text{ см}^{-1}$. При этом вместе со значительным ростом содержания $C=C$ -связей увеличивается и содержание $C-H$ -групп ароматических групп ($900\text{--}700\text{ см}^{-1}$). С повышением катагенеза уменьшается концентрация кислородсодержащих соединений, что и отражает спектральный коэффициент K_2 (рис. 4).

Процесс изменения структурно-группового состава керогена в катагенезе также наблюдается на ИК-спектрах образцов юрского разреза Тюменской сверхглубокой скважины (рис. 5), для которой были изучены образцы из тюменской, береговой свит и глубокопогруженных высоко преобразованных отложений триаса. С глубиной спектральный коэффициент K_1 увеличивается в 1.3 раза (от 1.50 на градации $МК_2$ до 1.94 в апокатагенезе), спектральный коэффициент K_2 уменьшается в 1.4 раза, что свидетельствует об уменьшении доли алифатических и кислородсодержащих соединений и увеличении содержания ароматических групп (рис. 5).

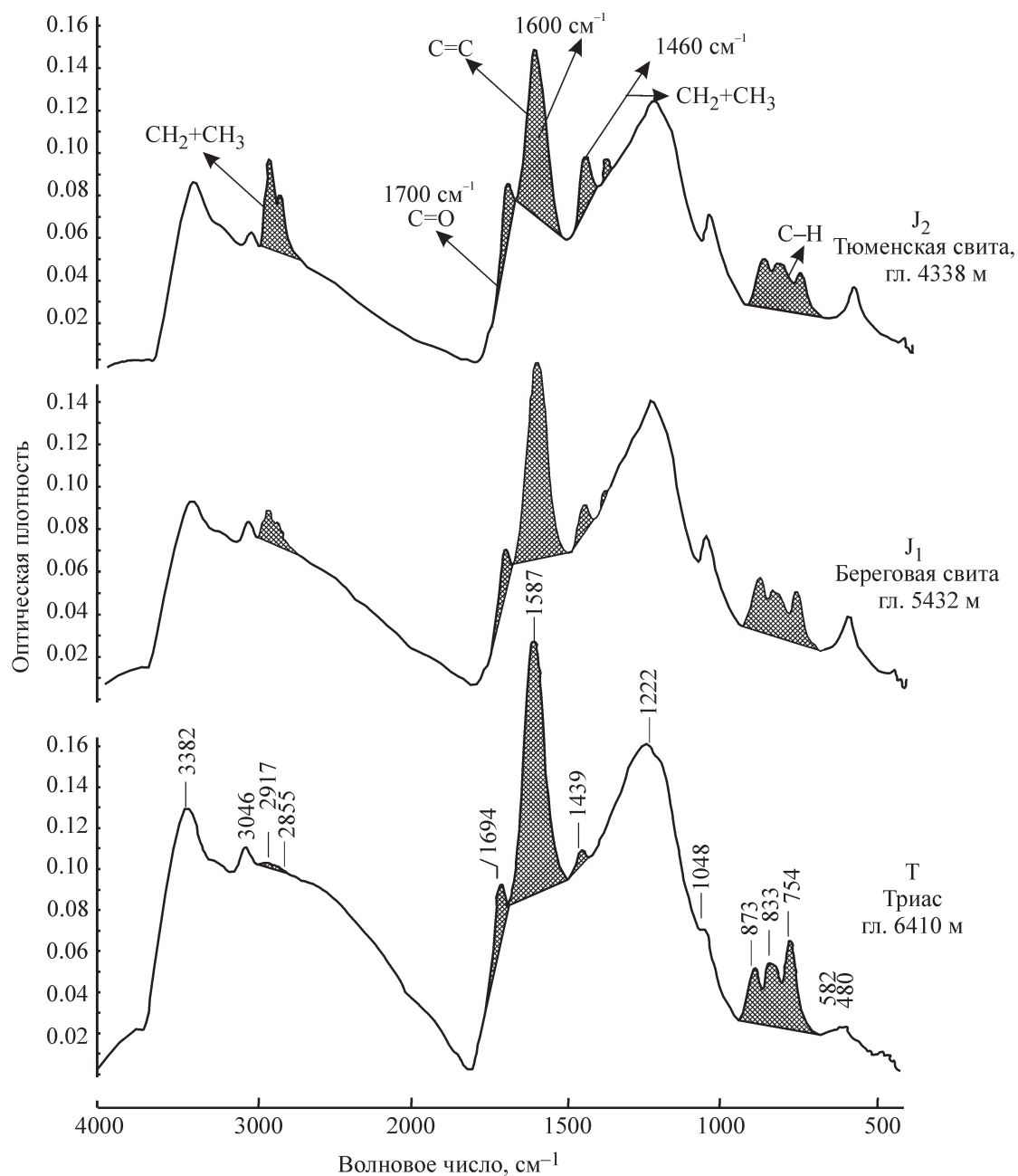


Свита, глубина (м)	K ₁	K ₂	Этап катагенеза
Тюменская, 4320	1.09	0.60	МК ₁
Лайдинская, 4645	1.38	0.54	МК ₁ ³
Ягельная, 5236	1.82	0.25	МК ₃ ²

Рис. 4. Изменение содержания ароматических, алифатических и кислородсодержащих групп в структурно-групповом составе керогена с ростом катагенеза в юрском разрезе скв. Евояхинская-356.

Изучение керогена методом ИК-спектроскопии показало, что с ростом катагенеза в структуре керогенов как Тюменской, так и Евояхинской скважин происходят заметные изменения: увеличивается содержание атомов углерода в ароматических структурах, растет степень их конденсации. При этом с глубиной погружения уменьшается количество насыщенных структур, входящих в состав алкановых заместителей, а число незамещенных атомов углерода в ароматических структурах керогена увеличивается. Изменения в структуре ке-

рогена с ростом катагенеза на менее глубокопогруженных объектах фиксировали и ранее [20]. Выявленные в последние годы [2, 10, 21, 22] особенности преобразования керогена в жестких термобарических условиях и перераспределение состава и структуры в системе кероген-асфальтены требуют более тонких исследований как ароматических, так и кислородсодержащих соединений в апокатагенезе, где возможно, подобно асфальтенам, структура керогена также подвергается частичной деструкции.



Свита, глубина (м)	K ₁	K ₂	Этап катагенеза
Тюменская, 4338	1.50	0.57	МК ₂
Береговая, 5432	1.76	0.44	МК ₃ ²
Триас, 6410	1.94	0.40	МК ₃ ² -АК ₁

Рис. 5. Изменение структурно-группового состава керогена с ростом катагенеза в юрском разрезе скв. Тюменская СГ-6.

Выводы

Кероген нижнеюрских отложений северных территорий Зап. Сибири характеризуется пониженным содержанием водорода (не более 4.9%) и

атомного отношения Н/С (0.5–0.7), что указывает на террагенное происхождение ОВ этих пород (III тип керогена) [8]. Однако, в изученной коллекции отмечаются единичные образцы керогенов с относительно более высокой концентрацией водорода

(5.2–6.1%), и могут быть отнесены к смешанному типу ОВ (II–III). По данным ИК-спектроскопии по структурным особенностям для керогена нижнеюрских отложений характерны повышенный вклад ароматических групп и низкая концентрация алифатических структур. Органическое вещество достигло высокого уровня зрелости (градации МК₂-АК).

Для керогена среднеюрских отложений характерны более высокие по сравнению с нижнеюрскими значения водорода (5.0–5.3%) и атомного отношения Н/С (до 0.78). Отмечается обратная зависимость Н/С_{ат} керогена от отражательной способности витринита. Степень катагенеза ОВ соответствует градациям МК₁²-МК₃², ОВ этих пород находится в главной зоне нефтеобразования и относится к керогену III типа. Однако, в среднеюрском разрезе также присутствуют уровни смешанного ОВ, для которых содержание водорода составляет 5.6–6.3%. По данным ИК-спектроскопии керогены среднеюрского возраста характеризуются более высокой по сравнению с нижнеюрскими отложениями концентрацией алифатических групп и сниженной долей ароматических структур.

Кероген верхнеюрских отложений характеризуется высоким содержанием водорода (до 7.3%) и, соответственно, повышенным атомным отношением Н/С (0.78–1.07). Здесь наблюдается резкое различие в геохимических характеристиках баженовских керогенов аквагенного генезиса и васюганских смешанного или террагенного типа. Судя по уровню зрелости ОВ верхнеюрских отложений севера Зап. Сибири находится в главной зоне нефтеобразования (МК₁²МК₂). Что касается структурно-группового состава, то в керогене верхнеюрских отложений, повышено содержание алифатических групп и снижена доля ароматических структур.

Таким образом, под действием факторов катагенеза от верхнеюрских отложений вниз по разрезу к нижнеюрским наблюдается изменение элементного и структурно-группового состава за счет карбонизации керогена: снижение атомного отношения Н/С от 1.2 в мезокатагенезе и до 0.5 в апокатагенезе. При этом в структуре керогена уменьшается роль алифатических и кислородсодержащих групп и увеличивается доля ароматических структур.

Финансирование работы

Работа выполнена при финансовой поддержке Проекта ФНИ № 0331-2019-0022.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующих раскрытия в данной статье.

Информация об авторах

Борисова Любовь Сергеевна, доцент, вед. н.с., д. геол.-мин. наук, E-mail: BorisovaLS@ipgg.sbras.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4155-1832>

Фомин Александр Николаевич, гл. н.с., д. геол.-мин. наук, E-mail: FominAN@ipgg.sbras.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5174-4304>

Ярославцева Екатерина Сергеевна, м. н.с., E-mail: YaroslavtsevaES@ipgg.sbras.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1659-1736>

Список литературы

1. Фомин А. Н., Конторович А. Э., Красавчиков В. О. Катагенез органического вещества и перспективы нефтегазоносности юрских, триасовых и палеозойских отложений Западно-Сибирского мегабассейна // Геология и геофизика. 2001. Т. 42. № 11. С. 1875–1887.
2. Borisova L. S. The origin of asphaltenes and main trends in evolution of their composition in during lithogenesis // Petrol. Chemistry. 2019. V. 59. N 10. P. 1118–1123. <https://doi.org/10.1134/S0965544119100037> [Борисова Л. С. Происхождение асфальтенов и основные тенденции эволюции их состава в литогенезе // Нефтехимия. 2019. Т. 59 № 10. С. 1118–1123].
3. Конторович А. Э., Фомин А. Н., Данилова В. П., Меленевский В. Н., Борисова Л. С., Костырева Е. А. Органическая геохимия триас-юрских отложений в Тюменской сверхглубокой скважине СГ-6. В кн. «Геология и проблемы поисков новых крупных месторождений нефти и газа в Сибири». Новосибирск: ОИГГиМ СО РАН, 1996. С. 112–116.
4. Конторович А. Э., Данилова В. П., Фомин А. Н., Костырева Е. А., Борисова Л. С., Меленевский В. Н. Перспективы нефтегазоносности глубокопогруженных горизонтов севера Западной Сибири (Тюменская СГ-6) // Известия ТПУ. Геология и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2002. Т. 305. Вып. 8. С. 45–48.
5. 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.
6. Конторович А. Э., Фомин А. Н., Борисова Л. С., Данилова В. П., Костырева Е. А., Москвин В. И., Фомин А. Н., Фурсенко Е. А. Геохимические критерии прогноза нефтегазоносности глубокозалегающих горизонтов нижней и средней юры на севере Западно-Сибирского НГБ // Труды ВНИГНИ. Москва, 2001. С. 20–22.
7. Конторович А. Э., Богородская Л. И., Борисова Л. С., Бурштейн Л. М., Исмаилов З. Р., Ефимова О. С.,

- Костырева Е. А., Лемина Н. М., Рыжкова С. В., Созинов С. А., Фомин А. Н.* Геохимия и катагенетические превращения керогена баженковского горизонта // Геохимия. 2019. Т. 64. № 6. С. 585–593. <https://doi.org/10.31857/S0016-7525646585-593>
8. *Богородская Л. И., Конторович А. Э., Ларичев А. И.* Кероген. Методы изучения, геохимическая интерпретация. Новосибирск: Филиал «Гео», 2005. 255 с.
 9. *Глебовская Е. А.* Применение инфракрасной спектроскопии в нефтяной геохимии. Л.: Недра, 1971. 140 с.
 10. *Шакс И. А., Файзуллина Е. М.* Инфракрасные спектры ископаемого органического вещества. Л.: Недра, 1974. 131 с.
 11. *Vandenbroucke M., Largeau C.* Kerogen origin, evolution and structure // *Organic Geochemistry*. 2007. V. 38. P. 719–833. <https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2007.01.001>
 12. *Парфенова Т. М., Конторович А. Э., Борисова Л. С., Меленевский В. Н.* Кероген куонамской свиты кембрия // *Геология и геофизика*. 2010. Т. 51. № 3. С. 353–363.
 13. *Бушнев Д. А., Бурдельная Н. С., Мокеев М. В.* Результаты ¹³C ЯМР- и ИК-спектроскопии керогена верхнедевонских доманикитов Тимано-Печорского бассейна // *Геохимия*. 2019. Т. 64. № 11. С. 1146–1157. <https://doi.org/10.31857/S0016-752564111146-1157>
 14. *Родченко А. П., Борисова Л. С., Ким Н. С.* Изучение юрских керогенов Енисей-Хатангского прогиба методом ИК-спектроскопии / *Материалы XI междунар. конф. «Химия нефти и газа»*. Томск. 2020. С. 81.
 15. *Современные методы анализа в органической геохимии* / Под ред. А. Э. Конторовича. Новосибирск: СНИИГГиМС, 1973. Вып. 166. 100 с.
 16. *Богородская Л. И., Конторович А. Э.* Химический состав рассеянного в породах органического вещества и пути его классификации. Седикахиты на разных этапах литогенеза. М.: Наука, 1982. С. 49–59.
 17. *Юркевич И. А., Разумова Е. Р.* Сравнительное изучение высокомолекулярной части нефтей и битумов. М.: Наука, 1981. 157 с.
 18. *Конторович А. Э., Конторович В. А., Рыжкова С. В., Шурыгин Б. Н., Вакуленко Л. Г., Гайдебурова Е. А., Данилова В. П., Казаненков В. А., Ким Н. С., Костырева Е. А., Москвин В. И., Ян П. А.* Палеогеография Западно-Сибирского осадочного бассейна в юрском периоде // *Геология и геофизика*. 2013. Т. 54. № 8. С. 972–1012.
 19. *Rouxhet P., Robin P. L.* Infrared study of the evolution of kerogens of different origins during catagenesis and pyrolysis // *Fuel*. 1978. V. 57. P. 533–540. [https://doi.org/10.1016/0016-2361\(78\)90038-8](https://doi.org/10.1016/0016-2361(78)90038-8)
 20. *Тиссо Б., Вельте Д.* Образование и распространение нефти. М.: Мир. 1981. 499 с.
 21. *Конторович А. Э., Полякова И. Д., Колганова М. М., Соболева Е. И.* Превращение органического вещества в мезо- b-апокатагенезе // *Советская геология*. 1988. № 7. С. 26–35.
 22. *Долженко К. В., Фомин А. Н., Меленевский В. Н.* Геохимическая характеристика террагенного органического вещества верхнепалеозойского комплекса Виллойской синеклизы и некоторые особенности его преобразования под действием термобарических условий больших глубин // *Георесурсы*. 2019. Т. 21. № 4. С. 77–84. <https://doi.org/10.18599/grs.2019.4.77-84>