

## ГЕОХИМИЯ И КАТАГЕНЕТИЧЕСКИЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ КЕРОГЕНА БАЖЕНОВСКОГО ГОРИЗОНТА

© 2019 г. А. Э. Конторович<sup>a,b,c,\*</sup>, Л. И. Богородская<sup>a</sup>, Л. С. Борисова<sup>a,b</sup>,  
Л. М. Бурштейн<sup>a,b</sup>, З. Р. Исмагилов<sup>c,\*\*</sup>, О. С. Ефимова<sup>c</sup>, Е. А. Костырева<sup>a</sup>, Н. М. Лемина<sup>a</sup>,  
С. В. Рыжкова<sup>a</sup>, С. А. Созинов<sup>c</sup>, А. Н. Фомин<sup>a,b</sup>, В. Р. Лившиц<sup>a,b</sup>

<sup>a</sup>Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН  
Россия, 630090 Новосибирск, просп. Академ. Коптюга, 3

<sup>b</sup>Новосибирский государственный университет  
Россия, 630090 Новосибирск, ул. Пирогова, 1

<sup>c</sup>Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН  
Россия, 650000 Кемерово, просп. Советский, 21  
e-mail: \*KontorovichAE@ipgg.sbras.ru; ismagilovzr@iccms.sbras.ru

Поступила в редакцию 11.04.2018 г.

После доработки 30.10.2018 г.

Принята к публикации 12.11.2018 г.

На представительной коллекции (276 проб) изучена геохимия элементного и изотопного составов керогена баженовского горизонта (баженовская свита и ее возрастные аналоги) Западно-Сибирского осадочного бассейна, построены карты изменения его элементного состава. По элементному составу керогена выполнены определения типов органического вещества (по содержанию Н, С), исходных компонентов живого вещества – источников вещества керогена (по содержанию Н, N), обстановок захоронения органического вещества в диагенезе (по содержанию S), уровня катагенетической преобразованности керогена (по содержанию С, О). Кероген в центральных, западных и южных районах Западно-Сибирского бассейна вплоть до границы выклинивания пород баженовского горизонта содержит водород в высоких концентрациях (до 8–9%) и обогащен изотопом углерода <sup>12</sup>C ( $\delta^{13}\text{C}\text{‰}$  от -35 до -29), что указывает на его полимерлипидную, аквагенную природу. Кероген баженовского горизонта (градация катагенеза МК<sub>1</sub>) северо-восточных районов бассейна содержит водород в существенно меньших концентрациях (2–4%). Построена карта типов органического вещества в породах баженовского горизонта.

**Ключевые слова:** баженовская свита, баженовский горизонт, органическое вещество, кероген, элементный состав, изотопный состав, аквагенный, полимерлипиды, Западная Сибирь

DOI: 10.31857/S0016-7525646585-593

### ИСТОРИЯ ВОПРОСА. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Первый серьезный обзор геохимии керогена был опубликован в 1958 г. В.А. Успенским с соавторами. Здесь и далее под керогеном авторы понимают нерастворимую в органических растворителях часть органического вещества (ОВ) осадочных пород.

Исследования керогена баженовской свиты были начаты во ВНИГРИ и СНИИГГиМСе вскоре после открытия этой толщи. Первые обобщения материалов по геохимии керогена баженовской свиты были выполнены А.Э. Конторовичем совместно с Л.И. Богородской

и Е.А. Рогозиной (Конторович, Рогозина, 1967; Конторович и др., 1967, 1972, 1975).

В последующие годы выполнен ряд крупных работ по геохимии керогена (Kerogen..., 1980; Vandenbroucke, 2003; Богородская, и др., 2005; Vandenbroucke, Largeau, 2007).

Как известно, основными элементами, формирующими кероген, являются углерод, водород, кислород, азот и сера. Давно подмечено (Успенский и др., 1958; Вассоевич, 1958), что подобно углю с ростом степени катагенетической преобразованности кероген обогащается углеродом и теряет гетероэлементы. Первые классификации керогена предложили в СССР В.А. Успенский и др. (Успенский и др., 1958), в Европе – Д. Ван-

Кревелен и Ж. Шуер (Ван-Кревелен, Шуер, 1960; Tissot, Welte, 1978). Различают два главных типа керогена — аквагенный (сапропелевый, типы I и II) и террагенный (гумусовый, тип III).

Кероген аквагенного типа преобладает в морских и некоторых озерных осадках (сланцы Green River в Северной Америке, некоторые нефтепроизводящие свиты в осадочных бассейнах Восточного Китая, тогурская свита в Западной Сибири и др.). Его биологическим предшественником (прекурсором) является живое вещество архей, бактерий и простейших эукариотов. Известно, что основная масса белково-углеводных компонентов живого вещества простейших организмов подвергается окислению и биохимической деструкции еще на стадиях седиментогенеза и диагенеза, поэтому кероген аквагенного ОВ сложен в основном нерегулярными полимерлипидами, строительные блоки которого унаследованы от липидов живого вещества.

Кероген террагенного (гумусового — устаревшее название) типа преобладает в континентальных (аллювиальных, озерно-болотных, болотных) и прибрежно-морских фациях и обязан своим образованием высшей наземной растительности, в первую очередь основным по массе ее компонентам — целлюлозе и лигнину.

В качестве графического классификатора типов ОВ по элементному составу керогена авторы использовали тригонограмму, в углах которой в пересчете на 100% отложены содержания в керогене углерода, водорода и гетероэлементов (N+S+O) (Конторович и др., 1967, 1972; Богородская и др., 2005). Тригонограмма также позволяет определить уровень катагенетической превращенности ОВ. Данные по составу керогена, наряду с результатами определения отражательной способности витринита, были использованы при построении карты катагенеза ОВ баженовской свиты (Конторович, Фомин, 2009).

Цель настоящей работы — впервые обобщить накопленный в СНИИГГиМСе и ИНГГ СО РАН более чем за 50 лет материал по химическому составу и изотопному составу углерода керогена баженовского горизонта, главного генератора нефти в Западно-Сибирском осадочном мегабассейне, и рассмотреть главные черты его геохимии. Используемые в работе анализы выполнены Л.И. Богородской, Г.М. Антаковой, Н.М. Леминой в СНИИГГиМСе (1962–1989 гг.) и ИНГГ СО РАН (1990–2018 гг.) под руковод-

ством А.Э. Конторовича. Принятая методика анализа описана в работе Л.И. Богородской, А.Э. Конторовича и А.И. Ларичева (2005).

Отбор коллекций для исследования проводился в СНИИГГиМСе А.Э. Конторовичем, П.А. Трушковым, А.С. Фомичевым и др., в ИНГГ СО РАН — Е.А. Костыревой, С.В. Рыжковой, А.Н. Фоминым, Н.С. Ким, А.П. Родченко. Всего в работе использовано 276 анализов керогена баженовского горизонта.

Результаты нескольких анализов керогена доманикового горизонта Тимано-Печорской и Волго-Уральской провинций были любезно предоставлены Н.С. Бурдельной. Использованы также аналитические материалы по хадумской свите, опубликованные В.А. Успенским (1958).

### ГЛАВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ГЕОХИМИИ КЕРОГЕНА В БАЖЕНОВСКОМ ГОРИЗОНТЕ

Рассмотрим детально систематизированную информацию о составе керогенов баженовской свиты.

На рис. 1 показана диаграмма Ван-Кревелена, на которую нанесен состав керогенов баженовской свиты и ее возрастных аналогов (гольчихинская, яновстанская). Последние формировались на северо-восточной окраине Западно-Сибирского бассейна (Рыжкова и др., 2018).

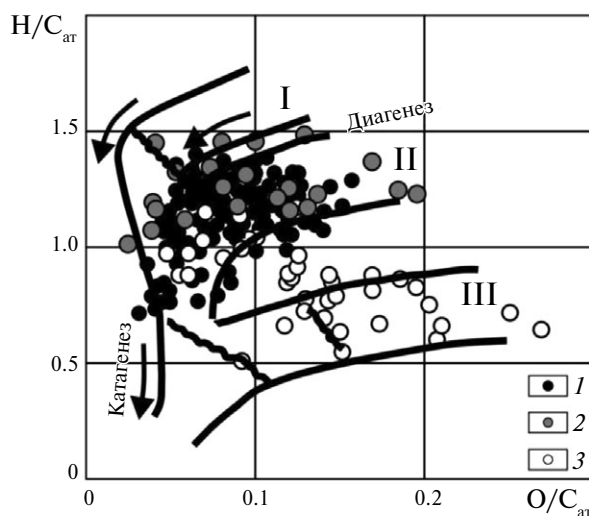
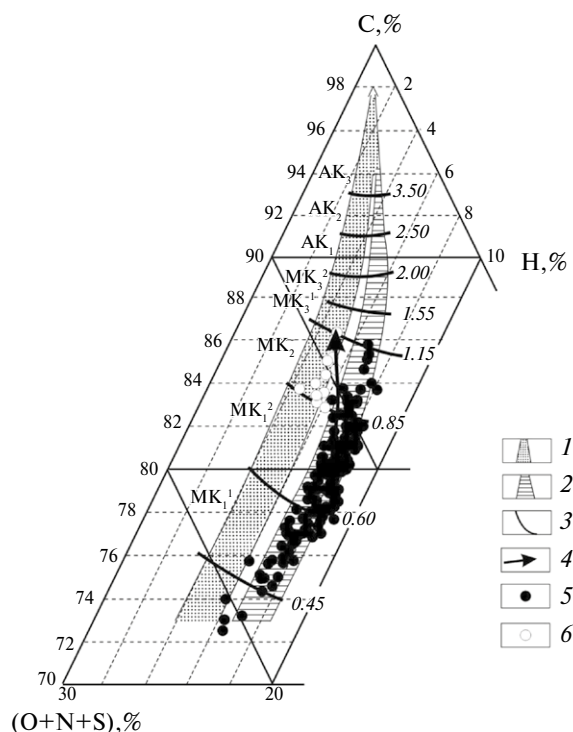


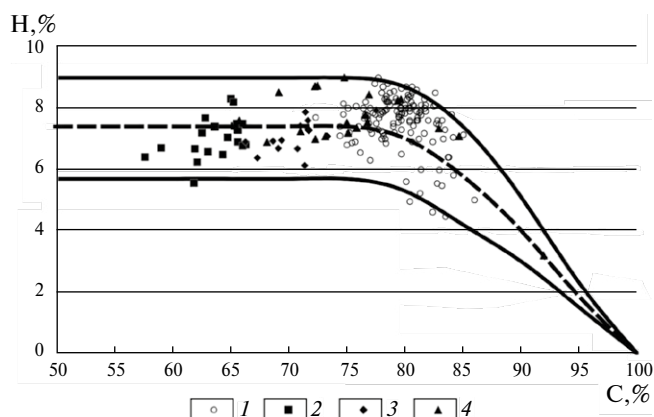
Рис. 1. Эволюционные тренды основных типов керогенов по Д. Ван-Кревелену и Ж. Шуеру (Ван-Кревелен, Шуер, 1960): 1 — баженовская и тутлеймская (нижняя подсвита) свиты; 2 — углеродистые породы доманикового горизонта ( $D_3$ ) и волжского яруса Восточно-Европейской платформы; 3 — гольчихинская и яновстанская свиты.

Из рис. 1 хорошо видно, что кероген баженовской свиты относится к типу II, единичные образцы – к переходным от типа II к типу I. Керогены гольчихинской и яновстанской свит относятся к типу III и лишь единичные образцы (прослой) содержат керогены типа II и переходные от типа III к II типу. Это означает, что в центральной, относительно глубоководной части Западно-Сибирского баженовского моря накапливалось автохтонное аквагенное ОВ (Конторович и др., 2013). К периферии оно сменялось аллохтонным террагенным. В этой части бассейна присутствуют только отдельные пачки пород, в которых содержится аквагенное ОВ.

Тригонограмма элементного состава керогена баженовского горизонта показана на рис. 2. Из рис. 2 наглядно видно, что ОВ баженовской свиты обогащено водородом и имеет аквагенную природу.



**Рис. 2.** Тригонограмма элементного состава керогена баженовской свиты. Поля эволюции при катагенезе элементного состава: 1 – керогена террагенного типа; 2 – керогена аквагенного типа; 3 – границы зон катагенеза, цифрами обозначены значения  $R^0_{VT}$ ; 4 – направление трансформации керогена в зонах аномально высоких температур баженовской свиты; возраст отложений; 5 – кероген баженовской свиты центральных районов, 6 – кероген баженовской свиты высокотемпературной области.



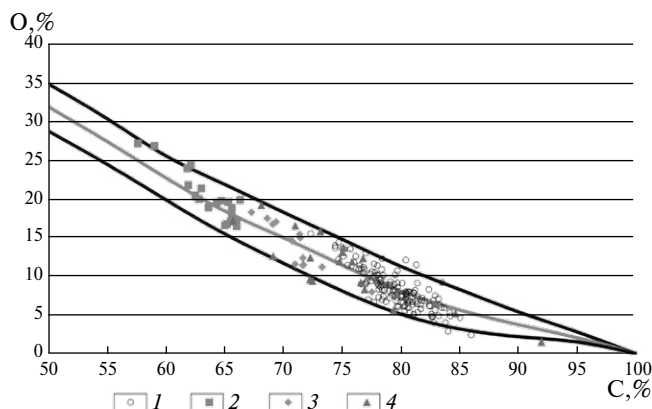
**Рис. 3.** Содержание водорода в аквагенном керогене в зависимости от содержания углерода: Западно-Сибирская геосинеклиза: 1 – баженовская свита; Восточно-Европейская платформа: 2 – волжские глины, 3 – доманиковский горизонт; Скифская плита: 4 – хадумская свита, олигоцен.

На рис. 3 показано, что в интервале значений концентрации углерода на горючую массу керогена ( $C^r$ ) от 65 до 80% увеличение концентрации углерода в керогене не сказывается на содержании водорода. Оно колеблется от 6% до 9%, в среднем около 8%. При дальнейшем росте концентрации углерода в керогене концентрация водорода начинает снижаться до 4–5% на горючую массу.

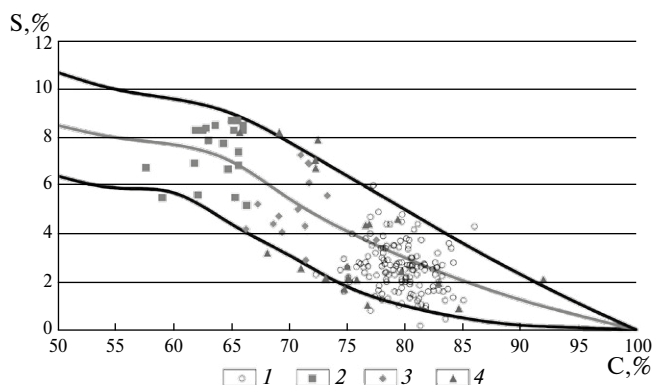
Иную интерпретацию аналитических данных об изменении концентрации водорода в керогене с ростом концентрации углерода развивал С.Г. Неручев. Уже в работах начала 70-х годов XX века (Неручев, 1970, 1973) он сделал очень интересное предположение, что на этапе главной фазы нефтеобразования должен нарушаться «нормальный» ход катагенеза органического вещества, и остаточное ОВ не обогащается, а обедняется углеродом и водородом за счет интенсивного образования углеводородов. С.Г. Неручев назвал это предполагаемое им явление «углеродным парадоксом». Свою концепцию С.Г. Неручев развивал до начала XXI века (Неручев, 2017).

А.Э. Конторович не исключает, что этот эффект мог быть связан с ошибками аналитических работ или отбором разнородных проб. Ряд специалистов ИНГГ СО РАН, в частности Л.М. Бурштейн, склонны считать, что С.Г. Неручев был прав. Нельзя не отметить, что рис. 3 дает известные основания для такого вывода.

Если предположение С.Г. Неручева верно, то из этого с неизбежностью следует, что масса



**Рис. 4.** Содержание кислорода в аквагенном керогене в зависимости от содержания углерода: Западно-Сибирская геосинеклиза: 1 – баженовская свита; Восточно-Европейская платформа: 2 – волжские глины, 3 – доманиковый горизонт; Скифская плита: 4 – хадумская свита, олигоцен.

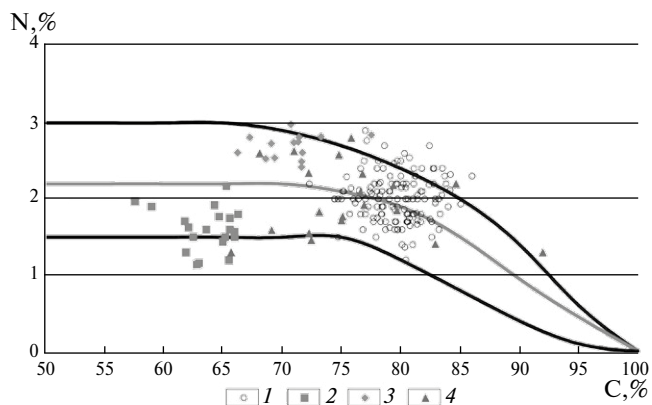


**Рис. 5.** Содержание серы в аквагенном керогене в зависимости от содержания углерода: Западно-Сибирская геосинеклиза: 1 – баженовская свита; Восточно-Европейская платформа: 2 – волжские глины, 3 – доманиковый горизонт; Скифская плита: 4 – хадумская свита, олигоцен.

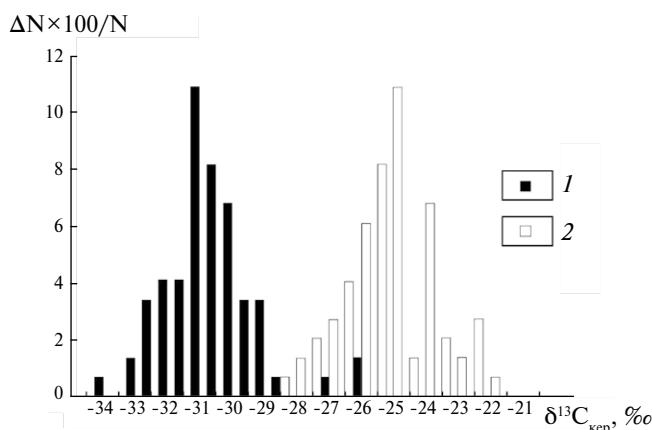
углеводородов, образующихся в главную фазу нефтеобразования, существенно больше, чем если предполагать, что накопление углерода в остаточном керогене при погружении осадочных пород происходит монотонно.

Содержание кислорода в керогене с ростом его катагенеза и увеличением концентрации углерода снижается при росте концентрации углерода от 65 до 80% быстро, а при более высоких концентрациях углерода скорость потери керогеном кислорода несколько замедляется (рис. 4). Аналогичным образом снижается содержание серы в керогене (рис. 5).

Азот содержится в керогенах баженовской свиты в концентрации 1.0–3.0%, редко 3.0–4.5%. В изученном интервале катагенетических преобразований ОВ баженовской свиты (при со-



**Рис. 6.** Содержание азота в аквагенном керогене в зависимости от содержания углерода: Западно-Сибирская геосинеклиза: 1 – баженовская свита; Восточно-Европейская платформа: 2 – волжские глины, 3 – доманиковый горизонт; Скифская плита: 4 – хадумская свита, олигоцен.



**Рис. 7.** Сравнение изотопного состава углерода керогена: 1 – аквагенного, тип II (баженовская и тутлеймская свиты); 2 – террагенного, тип III (урманская, салатская, тюменская свиты и их аналоги) органического вещества.

держании углерода в горючей массе керогена от 65 до 86%) концентрация азота в нем не меняется. Авторы полагают, что подобно углям аквагенные керогены теряют азот на высоких стадиях катагенеза и метагенеза (рис. 6).

Фундаментальной важности результат дало исследование изотопного состава углерода в керогенах (Конторович и др., 1985; 1985а). Анализ новейших исследований подтвердил, что углерод аквагенного ОВ систематически изотопно легче, чем в террагенном органическом веществе (рис. 7).

Наличие большого числа определений элементного состава керогена баженовской свиты позволило построить карты изменения их состава (рис. 8–12). При этом авторы учитывали, что между содержаниями углерода и кислорода

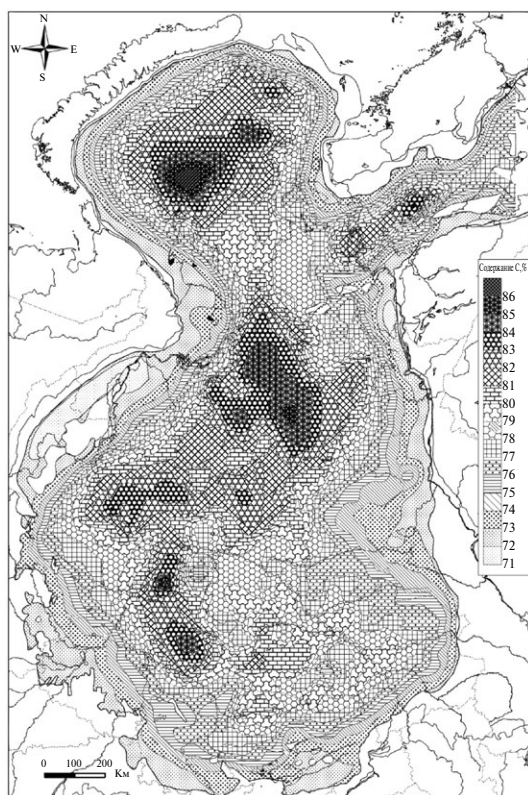


Рис. 8. Карта современных содержаний углерода в керогене пород баженовского горизонта, в % на горючую массу.

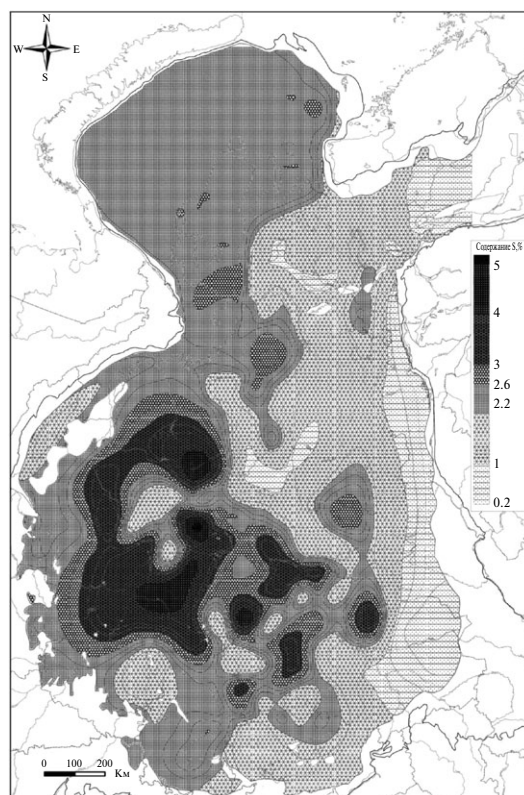


Рис. 10. Карта современных содержаний серы в керогене пород баженовского горизонта, в % на горючую массу.

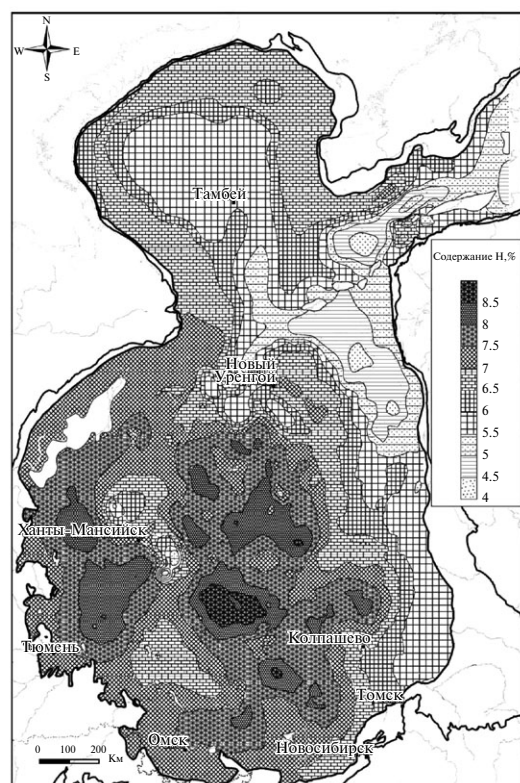


Рис. 9. Карта современных содержаний водорода в керогене пород баженовского горизонта, в % на горючую массу.

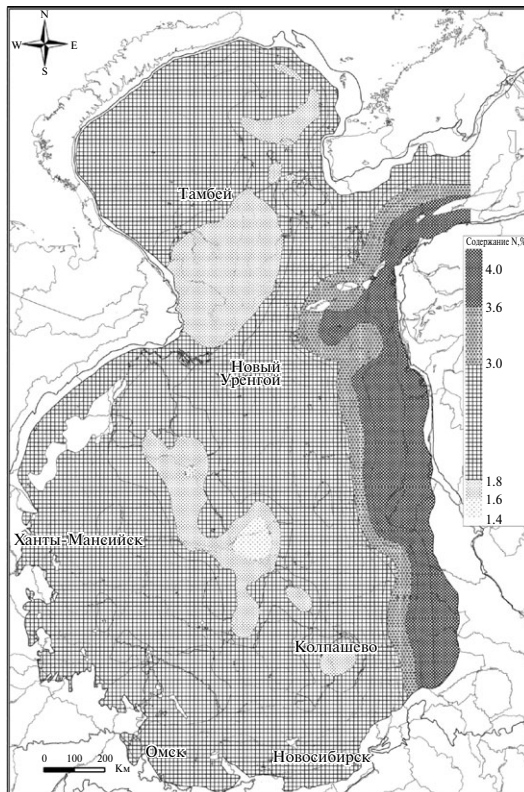


Рис. 11. Карта современных содержаний азота в керогене пород баженовского горизонта, в % на горючую массу.



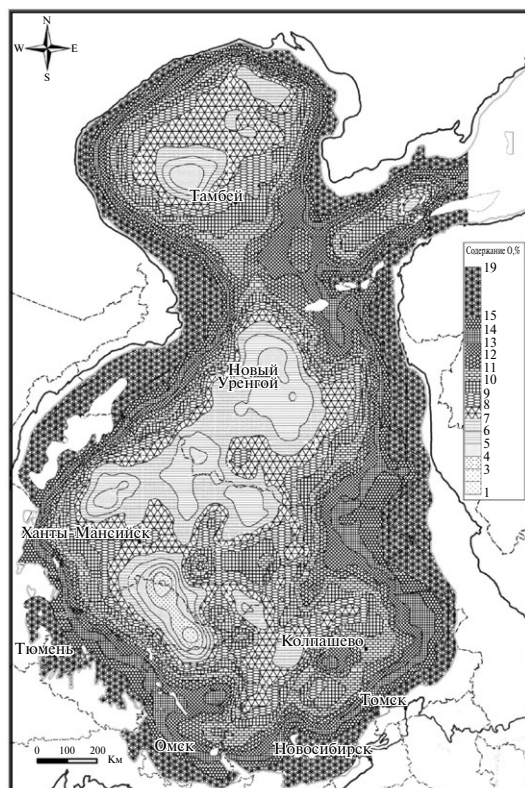


Рис. 12. Карта современных содержаний кислорода в керогене пород баженовского горизонта, в % на горючую массу.

в керогене, с одной стороны, и отражательной способностью витринита, пересчитанного на кровлю баженовской свиты в точках отбора проб для получения керогена, – с другой имеют сильные корреляционные связи для углерода: положительная, а для кислорода – отрицательная.

Эти карты (рис. 8–12), точнее информация об элементном составе керогена (C, H, N, S, O), были использованы при диагностике типов ОВ (Н), исходных компонентов живого вещества – источников вещества керогена (Н, N), обстановок захоронения ОВ в диагенезе (S), определении уровня катагенетической преобразованности керогена (C, O).

Исследование показало, что ОВ собственно баженовской свиты и нижнетутлеймской подсвиты повсеместно аквагенное. Этот вывод подтверждается данными об изотопном составе керогена, его элементным составом (водород) и материалами по геохимии углеводородов биомаркеров (Конторович и др., 1991; 2009; Peters et al., 1993). В связи с рассмотрением вопроса о типе захороненного ОВ, крайне важно для оценки

начального генерационного потенциала баженовской свиты, вернемся к анализу карты содержания водорода в керогене пород баженовского горизонта (рис. 8). На карте хорошо видно, что кероген центральных, западных, вплоть до границы выклинивания пород баженовского горизонта, и южных районов Западно-Сибирского бассейна содержит водород в высоких концентрациях (до 8–9%) и обогащен изотопом углерода  $^{12}\text{C}$  ( $\delta^{13}\text{C}\text{‰}$  от -35 до -29), что указывает на его полимерлипидную аквагенную природу. Обращает на себя внимание, что кероген баженовского горизонта северных и восточных районов бассейна содержит водород в существенно меньших концентрациях (6–4%). Это может быть вызвано как сменой типа ОВ (рис. 1), так и потерей водорода керогеном на высоких стадиях катагенеза (рис. 1, 3). В связи с этим с использованием зависимости концентрации водорода в керогене от концентрации в нем углерода (рис. 3) в керогене были определены палеосодержания водорода, когда ОВ находилось на стадии раннего мезокатагенеза (МК<sub>1</sub>) и построена соответствующая карта содержания водорода в керогене баженовской свиты на грации раннего мезокатагенеза (рис. 13). Эта

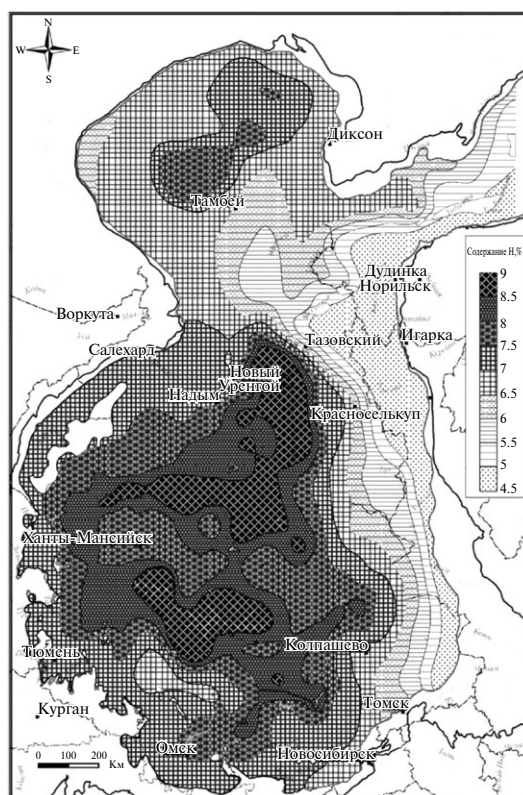


Рис. 13. Карта содержаний водорода в керогене баженовской свиты и ее возрастных аналогах на территории Западной Сибири на начало мезокатагенеза, в %.

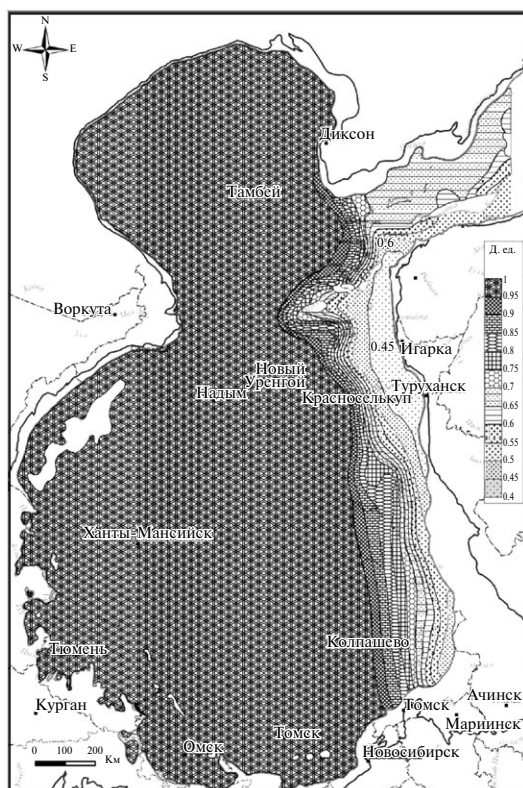


Рис. 14. Карта соотношения террагенного и аквагенного органического вещества в керогенах баженовского горизонта.

карта подтверждает асимметрию в накоплении ОВ в баженовском море не только в количественном, но и в качественном отношении.

Вся совокупность геохимических материалов позволила построить карту типов ОВ в породах баженовского горизонта (рис. 14).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Западно-Сибирский морской бассейн волжского и начала берриасского веков характеризовался высокой биологической продуктивностью.

Окраинная часть бассейна, особенно на востоке и северо-востоке, представляла собой маргинальный (по А.П. Лисицыну) фильтр (Рыжкова и др., 2018). Он не пропускал во внутренние части бассейна песчано-алеврито-глинистый материал. В его составе присутствовали продукты механического выветривания, образовавшиеся в областях размыва, и поставляемые вместе с ними речными системами остатки высшей наземной растительности (террагенное ОВ). Террагенное ОВ формировало в осадках протокероген с низким (3–4%) содержанием водорода. На

элементный состав протокерогена могли влиять и процессы фюзенизации лигнинно-целлюлозных компонентов растительных остатков в ходе миграции в реках и в окислительной среде донных осадков.

Во внутренние части бассейна поступали и накапливались в осадках тонкодисперсный глинистый материал и гидроокислы железа, а также автохтонное ОВ морской микробиоты (археи, бактерии, простейшие эукариоты – радиолярии, фораминиферы и др.). Из них образовывались биогенные осадки, а при уплотнении пород – силициты, карбонаты, фосфориты и полимерлипидный, обогащенный водородом, протокероген аквагенного ОВ. Осадки накапливались в обстановке сероводородного заражения или дефицита кислорода в наддонных водах и илах, что при огромной массе органического вещества вело к восстановлению сульфат-иона морских вод и гидроокислов железа до пирита (до 10–15% на безводные осадки) и внедрению значительных масс серы в химическую структуру липидов ОВ. В результате этих процессов образовывавшийся полимерлипидный протокероген был обогащен сероорганическими соединениями.

При погружении в зоне катагенеза это аквагенное ОВ генерировало огромные массы нефти, нередко сернистой, и жирных, богатых углеводородами  $C_2$ – $C_4$  газов.

Особенности палеогеографии гигантского волжско-ранне-берриасского относительно глубоководного эпиконтинентального моря предопределили уникальный нефтегазогенерационный потенциал осадочных образований баженовского горизонта, который был источником нефти в кероген-карбонатно-глинисто-кремнистых породах горизонта  $Ю_0$  (баженовская свита, нижнетутлеймская подсвита), а также в песчаных резервуарах верхней юры (горизонт  $Ю_1$ ) и нижнего мела (баррем-апт, горизонты групп А и Б) центральных районов Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Богородская Л.И., Конторович А.Э., Ларичев А.И. (2005) Кероген. Методы изучения, геохимическая интерпретация. Новосибирск: филиал Гео, 255 с.
- Ван-Кревелен Д.В., Шуер Ж. (1960) Наука об угле. М.: Госгортехиздат, 303 с.

- Вассоевич Н.Б. (1967) Теория осадочно-миграционного происхождения нефти (исторический обзор и современное состояние). *Изв. АН СССР. Сер. Геол.* (11), 135–156.
- 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. (1967) Нефтепроизводящие толщи и условия образования нефти в мезозойских отложениях Западно-Сибирской низменности. Л., Недра. Ленингр. отд-ние, Тр. Сер. Нефтяная геология СНИИГГиМС, Вып. 50, 223 с.
- Конторович А.Э., Богородская Л.И., Голышев С.И. (1985) Распределение стабильных изотопов углерода в седидах различных областей. *Геология и геофизика* (7), 3–11.
- Конторович А.Э., Богородская Л.И., Голышев С.И. (1985а) Закономерности фракционирования изотопов углерода в седидах. *Геология и геофизика* (9), 34–42.
- Конторович А.Э., Каширцев В.А., Данилова В.П., Костырева Е.А., Ким Н.С., Меленевский В.Н., Москвин В.И., Парфенова Т.М., Тимошина И.Д., Фомин А.Н., Фурсенко Е.А. (2009) Молекулы-биомаркеры в ископаемом органическом веществе и нефтях докембрийских и фанерозойских пород Сибири. СПб.: ВНИГРИ, 108 с.
- 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. (2013) Палеогеография Западно-Сибирского осадочного бассейна в юрском периоде. *Геология и геофизика* **54**(8), 972–1012.
- Конторович А.Э., Нестеров И.И., Салманов Ф.К., Сурков В.С., Трофимук А.А., Эрвье Ю.Г. (1975) Геология нефти и газа Западной Сибири. М.: Недра, 680 с.
- Конторович А.Э., Петерс К.Е., Молдован Дж.М., Андрусевич В.Е., Демейсон Д.Дж., Стасова О.Ф., Хьюзинге Б.Дж. (1991) Углеводороды-биомаркеры в нефтях Среднего Приобья (Западная Сибирь). *Геология и геофизика* (10), с. 3–34.
- Конторович А.Э., Рогозина Е.А. (1967) Масштабы образования углеводородных газов в мезозойских отложениях Западно-Сибирской низменности. *Геология и нефтегазоносность юго-востока Западно-Сибирской плиты*. – Новосибирск: СНИИГГиМС, вып. 65, 13–25.
- Конторович А.Э., Рогозина Е. А., Трофимук А.А. (1972) Первичная миграция углеводородов и диагностика нефтегазопроизводящих толщ. *Закономерности размещения и условия формирования залежей нефти и газа в мезозойских отложениях Западно-Сибирской низменности*. М.: Недра, 227–260.
- Конторович А.Э., Фомин А.Н., Красавчиков В.О., Истомин А.В. (2009) Катагенез органического вещества в кровле и подошве юрского комплекса Западно-Сибирского мегабассейна. *Геология и геофизика* **50** (11), 1191–1200.
- Неручев С.Г. (2017) Избранные труды. Новосибирск: ИНГГ СО РАН, 683 с.
- Неручев С.Г. (1970) Катагенез рассеянного органического вещества пород и генерация нефти и газа в процессе погружения осадков. *ДАН СССР* **194** (5), 1186–1189.
- Неручев С.Г. (1973) К изучению главной фазы нефтеобразования. Современные проблемы геологии и геохимии горючих ископаемых геохимических методов поисков нефтяных и газовых месторождений. *Вопросы методики диагностики нефтепроизводящих свит*. Новосибирск, 64–84.
- Рыжкова С.В., Бурштейн Л.М., Ершов С.В. Казаненков В.А., Конторович А.Э., Конторович В.А., Нехаев А.Ю., Никитенко Б.Л., Фомин М.А., Шурыгин Б.Н., Бейзель А.Л., Борисов Е.В., Золотова О.В., Калинина Л.М., Пономарева Е.В. (2018) Баженовский горизонт Западной Сибири: строение, корреляция и толщины. *Геология и геофизика* **59** (7), 1050–1074.
- Успенский В.А. (1958). К разработке генетической классификации рассеянного органического вещества. *Вопросы образования нефти*. Л., вып. 128, 221–314.
- Kerogen insoluble organic matter from sedimentary rocks (1980) Edited by B. Durand. Editions Technip – Paris, 519 p.
- Peters K.E., Kontorovich A.E., Moldowan J.M. (1993) Geochemistry of selected oil sand rocks from the central portion of the West Siberian Basin. *AAPG Bulletin* **77**, 863–887.
- Tissot V.P., Welte D.H. (1978) Petroleum formation and occurrence. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 535 p.
- Vandenbroucke M. (2003) Kerogen: from types to models of chemical structure. *Oil & Gas Science and Technology. Rev. IFP* **58** (2), 243–269.
- Vanderbroucke M. and Largeau C. (2007) Kerogen origin, evolution and structure. *Organic Geochemistry* **38**, 719–833



## GEOCHEMISTRY AND CATAGENETIC TRANSFORMATION OF KEROGEN FROM THE BAZHENOV HORIZON

© 2019 A. E. Kontorovich<sup>a,b,c,\*</sup>, L. I. Bogorodskaya<sup>a</sup>, L. S. Borisova<sup>a,b</sup>,  
L. M. Burshtein<sup>a,b</sup>, Z. R. Ismagilov<sup>c,\*\*</sup>, O. S. Efimova<sup>c</sup>, E. A. Kostyreva<sup>a</sup>, N. M. Lemina<sup>a</sup>,  
S. V. Ryzhkova<sup>a</sup>, S. A. Sozinov<sup>c</sup>, A. N. Fomin<sup>a,b</sup>, V. R. Livshits<sup>a,b</sup>

<sup>a</sup>*Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,  
prosp. Akademika Koptyuga 3, Novosibirsk, 630090 Russia*

<sup>b</sup>*Novosibirsk State University, ul. Pirogova 1, Novosibirsk, 630090 Russia*

<sup>c</sup>*Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,  
prosp. Sovetskii 21, Kemerovo, 650000 Russia*

*e-mail: \*KontorovichAE@ipgg.sbras.ru; \*\*ismagilovzr@iccms.sbras.ru*

Received: 11.04.2018

Received version received: 30.10.2018

Accepted: 12.11.2018

A representative suite of 276 samples was used to study the isotopic and element geochemistry of kerogens from the Bazhenov horizon (Bazhenov Formation and its time equivalents) of the West Siberian sedimentary basin and to construct maps reflecting changes in the elemental composition of kerogen. The elemental composition of kerogen was used to determine the types of organic matter (H and C contents), the initial components of the living matter, the sources of kerogen (H and N contents), diagenetic history of organic matter (S content), the level of catagenetic transformation (C and O contents).

Kerogen from the central, western and southern regions of the West Siberian basin toward the boundary of the Bazhenov horizon pinch-out shows strong enrichment in hydrogen (up to 8–9%) and <sup>13</sup>C ( $\delta^{13}C\text{‰}$  from -35 to -29), suggesting its derivation from the polymer lipids of aquatic origin. Kerogen from the Bazhenov horizon (catagenetic grade MC<sub>1</sub>) in the northeast of the basin contains much lower hydrogen concentrations (2–4%). A map of organic matter types in the Bazhenov horizon was constructed.

**Keywords:** Bazhenov Formation, Bazhenov horizon, organic matter, kerogen, elemental composition, isotopic composition, aquatic, polymer lipids, West Siberia

**(For citation:** Kontorovich A.E., Bogorodskaya L.I., Borisova L.S., Burshtein L.M., Ismagilov Z.P., Efimova O.S., Kostyreva E.A., Lemina N.M., Ryzhkova S.V., Sozinov S.A., Fomin A.N., V. R. Livshits. Geochemistry and Catagenetic Transformation of Kerogen from the Bazhenov Horizon. *Geokhimiya*. 2019;64(6):585–593. DOI: 10.31857/S0016-7525646585-593)