

*На правах рукописи*

ПАРФЕНОВА ТАТЬЯНА МИХАЙЛОВНА

**ОРГАНИЧЕСКАЯ ГЕОХИМИЯ  
УГЛЕРОДИСТЫХ ПОРОД  
КУОНАМСКОГО КОМПЛЕКСА ОТЛОЖЕНИЙ  
НИЖНЕГО И СРЕДНЕГО КЕМБРИЯ  
(ВОСТОК СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ)**

25.00.09 – геохимия, геохимические методы  
поисков полезных ископаемых

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата геолого-минералогических наук

НОВОСИБИРСК 2008



Работа выполнена в Институте нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской Академии наук

Научный руководитель: доктор геолого-минералогических наук  
профессор, академик РАН  
Конторович Алексей Эмильевич

Официальные оппоненты: доктор геолого-минералогических наук  
Баженова Татьяна Константиновна

кандидат геолого-минералогических наук  
Соболев Петр Николаевич

Ведущая организация: Институт проблем нефти и газа СО РАН,  
(ИПНГ СО РАН, г. Якутск)

Защита состоится 16 апреля 2008 г. в 15 часов на заседании диссертационного совета Д 003.068.02 при Институте нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, в конференц-зале.

Адрес: проспект Ак. Коптюга, 3, г. Новосибирск, 630090  
Факс: (383) 333-23-01

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН.

Автореферат разослан 14 марта 2008 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
кандидат геол.-мин. наук



Е.А. Костырева

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Объект** исследования – органическое вещество (ОВ) и породы куонамского комплекса отложений нижнего и среднего кембрия, распространенного на севере и востоке Сибирской платформы. В куонамский комплекс объединяют собственно куонамскую свиту, ее фациальные и возрастные аналоги (иниканскую, сэктэнскую, синскую, шумнинскую свиты) и так называемые хорбусуонский и кычикский «языки» (Конторович, Савицкий, 1970, Бахтуров и др., 1988).

**Актуальность работы.** Кембрийские углеродистые породы на востоке Сибирской платформы привлекали внимание геологов, как возможная нефтепроизводящая толща с тридцатых годов XX века. По содержанию органического вещества и генерационному потенциалу они сравнимы с такими уникальными нефтепроизводящими толщами как породы доманика верхнего девона и баженовской свиты верхней юры, с которыми связаны нефтяные месторождения в Волго-Уральском, Тимано-Печорском и Западно-Сибирском нефтегазоносных бассейнах. На современном аналитическом уровне органическая геохимия куонамского комплекса отложений изучена слабо. Несмотря на то, что как потенциально нефтепроизводящий геологический объект геологи изучают его уже более семидесяти лет, промышленные скопления нефти, связанные с ним генетически, в промышленных масштабах пока не обнаружены. В настоящее время, когда интенсивно ведется строительство нефтепровода «Восточная Сибирь – Тихий океан» выявление новых залежей нефти вдоль трассы нефтепровода, где развит этот комплекс отложений, является важной государственной задачей. Это делает детальные исследования углеродистых кембрийских отложений особенно актуальными.

**Цель работы** – уточнить содержание и состав органического вещества, изучая современными физико-химическими методами кероген и битумоиды куонамского комплекса отложений.

**Задача** исследования – выявить закономерности накопления и природу органического вещества в породах нижнего и среднего кембрия, оценить генерационный потенциал куонамского комплекса отложений как возможного источника нефти на востоке Сибирской платформы.

Решение задачи было разделено на этапы:

- по содержанию и распределению биомаркеров в углеводородных фракциях и составу керогена выявить особенности биохимии

липидных комплексов сообществ организмов, являвшихся источником ОВ пород куонамского комплекса;

- используя результаты анализа форм железа и серы в породах, распределения гопановых углеводов, соотношения фенантронов и дибензотиофенов, уточнить физико-химические обстановки накопления органического вещества и его преобразования в осадке (диагенез);
- выявить изменения молекулярного состава и химической структуры компонентов ОВ в зависимости от содержания органического углерода в породах;
- на основании результатов анализа пород, керогенов, битумоидов и индивидуальных соединений определить тип, стадию катагенеза ОВ и оценить нефтегенерационный потенциал пород куонамского комплекса отложений;
- установить источник образования нафтидов, обнаруженных в породах нижнего и среднего кембрия изученных разрезов.

**Фактический материал и методы исследования.** Всего изучено 74 образца пород из двух разрезов кембрийских отложений (из обнажения на р. Молодо и скв. Хоточу № 7). Коллекция кернового материала собрана лично автором. Содержание органического углерода ( $C_{орг}$ ) для 74 образцов определено методом автоматического кулонометрического титрования. Выполнен пиролиз пород и керогенов (69 и 18 проб). Проведен битуминологический анализ 74 образцов. С помощью жидкостной хроматографии на колонках с АСК для 56 проб исследован групповой состав битумоидов. Метано-нафтенновые фракции изучены методами газо-жидкостной хроматографии и хромато-масс-спектрометрии (56 проб). На масс-спектрометре выполнен анализ ароматических соединений. Применена новая методика (Конторович и др., 2004) расчета относительного состава групп ароматических компонентов (суммарного количества фенантронов, моно- и триароматических стероидов, дибензотиофенов); за 100 % принята сумма высот пиков ароматических соединений, идентифицированных по ионным токам 178, 192, 253, 231, 184, 198. Элементный состав керогенов (18 проб) проанализирован с помощью CHNS-анализатора. Стабильные изотопы углерода керогенов и битумоидов (18 и 29 образцов) изучены на масс-спектрометре МИ 1201В относительным методом (в сравнении со стандартом PDB). Коллекция смол и асфальтеновых компонентов (109 образцов) исследована методом электронного парамагнитного резонанса (ЭПР).

#### **Защищаемые научные результаты.**

1. Микробиоценозы смешанного планктонно-водорослевого и бактериального состава были наиболее распространенными продуцентами в аэрируемых, без признаков сероводородного

заражения, морских водах нормальной солености во время накопления кембрийских углеродистых осадков. Структура этой биоты во времени менялась. На современной территории северо-востока Сибирской платформы часто повышалась биопродуктивность планктонно-водорослевых организмов, по-видимому, за счет «цветения» фитопланктона. На юго-востоке долгое время, особенно в нижнем кембрии, основную массу продуцентов представляли прокариоты, обитавшие в морском бассейне, воды которого, вероятно, были заражены сероводородом.

2. Состав и распределения хемофоссилий насыщенных и ароматических фракций, а также свойства смолистых и асфальтеновых компонентов зависят от содержания органического углерода в породах. В осадках морского бассейна, воды которого были обогащены сульфат-ионом, органическое вещество подвергалось существенному изменению. Чем больше были первоначальные концентрации органического вещества, тем интенсивнее происходили в диагенезе бактериальное внедрение серы и деалкилирование стероидов. При относительно низких концентрациях органического вещества биохимическая переработка его липидов вела преимущественно к их ароматизации.

3. Породы нижнего и среднего кембрия, обогащенные аквагенным органическим веществом, являются нефтепроизводящими на востоке Сибирской платформы. Они генерировали нафтиды и могли быть источником крупных залежей нефти.

**Научная новизна и личный вклад.** Впервые на основе детального анализа хемофоссилий выделены подтипы органического вещества в породах куонамского комплекса, дана характеристика биохимии продуцентов морей нижнего и среднего кембрия и уточнены условия их обитания, построены схемы распространения подтипов ОВ, микросообществ и возможных нафтидов, генетически связанных с куонамским комплексом отложений.

С помощью новой методики анализа ароматических фракций оценено относительное содержание дибензотиофенов. Выявлены закономерные изменения их концентраций как функции содержаний органического углерода в породах. Это позволило сделать вывод, что интенсивность бактериального внедрения серы в ОВ связана с количеством биомассы в осадках и сульфат-иона в водах.

В результате сопоставления соотношений короткоцепочечных и длинноцепочечных гомологов насыщенных и триароматических

стероидов, с содержанием серы, органического углерода, а также дибензотиофенов в породах впервые установлены прямые корреляционные связи между этими параметрами. Высказана гипотеза об образовании низкомолекулярных стероидов в процессе диагенетического бактериального деалкилирования высокомолекулярных гомологов в морских осадках.

Методом ЭПР определены концентрации парамагнитных центров (ПМЦ) в смолах и асфальтеновых компонентах битумоидов. Сопоставление относительных концентраций три- и моноароматических стероидов (ТАС/МАС) в ароматических фракциях углеводородов и концентраций ПМЦ в гетероциклических соединениях битумоидов с содержанием органического углерода в породах показало, что ароматизация органического вещества идет тем активнее, чем ниже его концентрация в осадках.

Интерпретации результатов, полученных с использованием битуминологических, пиролитических исследований ОБ и макроскопического описания пород, позволило автору установить наличие ряда нафтидонасыщенных горизонтов в разрезах востока Сибирской платформы. Изучение генетической связей «битумоиды куонамского комплекса отложений → нафтиды» показало, что эти нафтиды, генерированы ОБ пород куонамского комплекса.

**Теоретическая и практическая значимость.** Обнаруженные закономерности в изменении содержаний и распределении насыщенных и ароматических хемофоссилий позволили сделать вывод о направленности процессов низкотемпературного преобразования ОБ в морских осадках, предложить геохимические критерии диагностики некоторых особенностей биофаций наддонных и иловых вод при палеобиогеографических реконструкциях для бассейнов раннего палеозоя. Выявленные молекулярные особенности автохтонного ОБ куонамского комплекса отложений нижнего и среднего кембрия учтены в исследованиях по эволюции липидного вещества организмов, живших в протерозое и раннем фанерозое, а также при корреляциях в системе «нефтепроизводящие породы → нафтиды» на востоке Сибирской платформы. Материалы диссертации вошли в отчеты по научным программам Президиума РАН и Сибирского отделения РАН «Происхождение и эволюция биосферы», «Нафтидогенез и его эволюция в истории Земли; закономерности генерации, миграции, аккумуляции и сохранения залежей углеводородов в осадочных бассейнах Сибири».

**Апробация работы.** Результаты и основные положения работы докладывались и обсуждались на всероссийских и международных конференциях (Москва, 2003; Сыктывкар, 2003, Новосибирск, 2004; Siville, Spain, 2005; Москва, 2005; Петрозаводск, 2005; Санкт-Петербург, 2006; Томск, 2006; Новосибирск, 2007; Torquay, England, 2007; Loutraki, Greece, 2007). Исследования по теме диссертации поддерживались грантами РФФИ № 05-05-64587, 06-05-64209. В соавторстве и индивидуально по теме диссертации опубликовано 18 работ, из них 4 статьи в рецензируемых российских журналах по перечню ВАК.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация общим объемом 316 страниц состоит из введения, пяти глав, заключения, включает 22 таблицы, 88 рисунков, приложение (3 с.) и 246 наименований используемой литературы.

Работа выполнена в лаборатории геохимии нефти и газа Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН. Автор искренне благодарна за постановку задачи, научное руководство и критическое обсуждение результатов исследования, а также поддержку при выполнении диссертационной работы академику А.Э.Конторовичу. Автор выражает глубокую признательность за консультации и полезные советы чл.-корр. РАН В.А. Каширцеву, докторам г.-м.н. Ю.Н. Занину, А.Н. Фомину, кандидатам г.-м.н. С.Ф.Бахтурову, Л.С. Борисовой, И.В. Коровникову, Ю.Я. Шабанову, В.Г.Эдер, кандидатам ф.-м.н. Л.Г. Гилинской и В.Н. Меленевскому. За помощь в выполнении анализов автор благодарна Н.В. Аксеновой, Л.И.Горбуновой, Е.А. Зубовой, Е.Н.Ивановой, А.С.Коньшеву, А.В.Кубан, Н.М. Леминой, Г.П. Турковой, Н.Т. Юдиной и Л.С. Ямковой.

## **1. ИЗУЧЕННОСТЬ И ИСТОРИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ КУОНАМСКОГО КОМПЛЕКСА ОТЛОЖЕНИЙ**

Глава посвящена истории исследований и анализу изученности пород и ОВ ниже- и среднекембрийских отложений на востоке Сибирской платформы. Постановка нефтегазопоисковых работ, результаты исследования стратиграфии, литологии, геохимии неорганического и органического вещества, условий накопления углеродистой толщи кембрия, ее роли в нефтегазоносности рассматривались по публикациям В.А. Асташкина, Т.К. Баженовой,

С.Ф. Бахтурова, Д.А. Биккениной, Л.И. Богородской, В.М. Горленко, Ф.Г. Гурари, К.К. Демюкидова, В.М.Евтушенко, Л.И. Егоровой, Г.И.Жмур, А.Г. Замирайловой, Ю.Н. Занина, К.К. Зеленова, И.Н. Зуевой, А.Н. Изосимовой, В.А. Каширцева, Б.А. Клубова, А.Э. Конторовича, Н.И. Матвиенко, В.Н. Меленевского, Б.С. Неволина, С.Г. Неручева, Г.М.Парпаровой, В.А. Первунинского, Я.К. Писарчик, В.Г. Пуцилло, В.С. Переладова, А.Ю. Розанова, Л.В. Рядовой, В.Е. Савицкого, П.И.Санина, О.В. Серебренниковой, Н.М. Страхова, С.П. Успенского, О.В. Флеровой, Ю.Я. Шабанова и др..

## **2. МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Материалами для анализа послужили коллекции образцов пород из обнажений на р. Молодо и керна скв. Хоточу № 7. В разделе «Фактический материал и методы исследования» общей характеристики работы кратко описаны использованные методы изучения пород и ископаемого органического вещества.

## **3. СОСТАВ ПОРОД И СТРОЕНИЕ РАЗРЕЗОВ КУОНАМСКОГО КОМПЛЕКСА ОТЛОЖЕНИЙ НА ВОСТОКЕ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ**

В главе рассмотрены состав пород и строение разрезов из обнажения на р. Молодо и в скв. Хоточу № 7. Биостратиграфическое расчленение проведено для северо-восточного разреза Ю.Я. Шабановым, для юго-восточного – И.В. Коровниковым. В отложениях на р. Молодо существенную роль играют кремнистое и органическое вещества. Породы в скв. Хоточу № 7 преимущественно кремнистого, карбонатного и кремнисто-карбонатного составов. Содержание глин в изученных породах двух коллекций обычно не превышает 20 %. В бороулахском горизонте куонамской свиты из северо-восточного разреза концентрация глинистых минералов достигает 51%. Распределение породообразующих компонентов в изученных разрезах показало, что на северо-востоке Сибирской платформы куонамская толща сложена чередующимися пачками пород, обогащенных в разной степени органическим веществом. В разрезе Лено-Амгинского междуречья она имеет двучленное строение.

Содержание ОВ, оцененного с использованием анализа керогенов, в породах изученных разрезов куонамского комплекса изменяется от



0,3 % до 27 %. Установлена обратная стохастическая зависимость между содержанием в породах ОВ и суммой кварца и карбонатов ( $R = -0,81$ ) и положительная связь концентрации органического вещества и глинистого материала ( $R = 0,58$ ). Выявлены прямые связи между содержаниями общей и сульфатной серы и концентрацией органического вещества. Источником ОВ высокоуглеродистых пород была преимущественно органостенная биота.

#### **4. ОРГАНИЧЕСКАЯ ГЕОХИМИЯ УГЛЕРОДИСТЫХ ПОРОД КУОНАМСКОГО КОМПЛЕКСА ОТЛОЖЕНИЙ НА ВОСТОКЕ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ**

В изученных породах содержание органического углерода изменяется от 1,1 до 20,9 % в коллекции с р. Молодо и от 0,2 до 7,5 % – в скв. Хоточу № 7. В обогащенных ОВ отложениях выделены группы высокоуглеродистых и углеродистых пород ( $C_{\text{орг}}$  больше и меньше 10%, соответственно).

В разделе рассмотрен состав и распределения нормальных и изопреноидных алканов, стеранов и терпанов в насыщенных фракциях битумоидов.

В составе высокомолекулярных стеранов по относительной концентрации преобладают этилхолестаны (32-55 %) и холестаны (29-39 %) над метилхолестанами (13-26 %). Близкие содержания этих гомологов, равные 32-37 %, имеют место в высокоуглеродистых породах (табл. ). В углеродистых породах обычно преобладает этилхолестан.

На масс-хроматограммах идентифицированы диастераны и низкомолекулярные стераны (прегнаны). Установлено, что в изученных коллекциях концентрация прегнанов увеличивается по мере повышения содержания  $C_{\text{орг}}$  в породах. В главе обсуждаются представления об организмах-источниках стероидов. Известно, что стеролы могли синтезировать эукариоты. Доказательств образования стеролов прокариотами нет (Волкман (Volkman), 2003).

Типовые масс-хроматограммы терпановых углеводородов показаны на рис. 1, 2. Преобладание трицикланов в терпановой фракции наблюдается в высокоуглеродистых породах (рис. 1 (а)). Публикации (Ревила и др. (Revill), 1994, Дуга и др. (Dutta), 2006) позволяют предполагать, что их могли синтезировать водоросли – празиофиты. Повышенные содержания гопанов по сравнению с трицикланами отмечаются в углеродистых породах. Известно, что

гопаны являются продуктами разрушения мембран бактерий (Уриссон, 1984 и др.). Следовательно, для диагностики состава продуцентов можно использовать отношения стеранов к терпанам и гопанов к трицикланам. В распределении трицикланов преобладают  $C_{21}$  и  $C_{23}$  гомологи, в гопановой фракции максимальные содержания имеет гопан  $C_{30}$ . (рис. 1, рис. 2(б)). Особенностью ОВ нижней части разреза скв. Хоточу является распределение терпанов (рис. 2 (а)), где в аномальных концентрациях присутствует трициклан  $C_{23}$  и норгопан  $C_{29}$ , соответственно в трициклановой и гопановой фракциях. В терпановой фракции углеводородов зафиксированы низкие (менее 1 %) содержания гаммацерана (рис. 1, 2). Этот биомаркер – индикатор солености вод. Таким образом, молекулярное исследование ОВ подтвердило, что воды Восточно-Сибирского моря, в котором накапливались куонамские осадки были нормальной солености.

В ароматических фракциях анализировали фенантрен ( $m/z$  178), метилфенантрены ( $m/z$  192), моно- и триароматические стероиды (МАС и ТАС, соответственно по  $m/z$  253 и 231), дибензотиофен ( $m/z$  184) и метилдибензотиофены ( $m/z$  198). Были определены относительные содержания идентифицированных ароматических углеводородов и тиофенов (на 100 %): сумма фенантрена и метилфенантронов (Ф), МАС, ТАС, сумма дибензотиофена и метилдибензотиофенов (ДБТ).

В породах определено общее содержание серы. Анализ показал, что с ростом концентрации  $S_{орг}$  в породах увеличивается  $S_{общ}$ . Известно, что это связано с бактериальной сульфат-редукцией в морских обстановках. Показано, что концентрации ДБТ тоже зависят от содержания в породах  $S_{орг}$ . Коэффициент корреляции равен 0,63 для коллекции р. Молодо и 0,50 – скв. Хоточу № 7. По-видимому, чем больше попадало биомассы в осадок, тем больше образовывалось этих серусодержащих хемофоссилий. В коллекции из скважины Хоточу № 7 в отдельных пробах пород из нижней части разреза установлено аномально высокое (до 72 %) содержание дибензотиофенов. Образование высоких концентраций ДБТ может указывать на избыток сероводорода в наддонных и иловых водах этой части кембрийского моря.

Значения гомогопанового индекса  $C_{35}/C_{34}$  меньше 1 характерны для большинства изученных образцов пород (табл.). Это свидетельствует о нормальной аэрации вод бассейна седиментации. В этих образцах коэффициент Ф/ДБТ больше 1. Для некоторых проб из скв. Хоточу № 7  $C_{35}/C_{34}$  больше 1, а Ф/ДБТ меньше 1, что подтверждает предположение

о сероводородном заражении бассейна. Вероятно, при накоплении углеродистых осадков на современной территории юго-востока Сибирской платформы режим аэрации вод менялся во времени.

Во фракциях триароматических стероидов идентифицированы низко- ( $C_{20-21}$ ) и высокомолекулярные ( $C_{26} - C_{28}$ ) гомологи. Среди ТАС  $C_{26} - C_{28}$  в максимальной концентрации находятся изомеры  $C_{28}$ . Показано, что относительная концентрация низкомолекулярных ТАС  $C_{20-21}$  возрастает с увеличением содержания  $C_{орг}$  в породах (рис. 3 (а)). Выше была отмечена такая же зависимость для прегнанов и стеранов.

Иногда в литературе рост концентрации низкомолекулярных стероидов связывают с увеличением степени катагенеза органического вещества. Значительные вариации в концентрациях низко- и высокомолекулярных стероидов установлены автором в разрезах относительно небольшой мощности около 50 м и 80 м. В этом случае увязывать образование короткоцепочечных стероидных структур с высокими температурами и давлениями нельзя. Вероятно, еще в осадках куонамского моря шел процесс бактериального низкотемпературного деалкилирования стероидов, интенсивность которого зависела от концентрации захороненного ОВ. Отметим, что содержания короткоцепочечных стероидов связаны стохастически с содержаниями дибензотиофенов (рис. 3 (б)). Следовательно, интенсивность бактериального внедрения серы в ОВ и деалкилирование стеранов и триароматических стероидов были связаны. По-видимому, эти процессы контролировались активностью гетеротрофного бактериального сообщества в морских осадках. Можно предположить, что в его состав входили алкилотрофные и сульфатредуцирующие организмы. В работе автором предложена новая гипотеза образования низкомолекулярных стероидов за счет бактериального окисления подобного биологическому разрушению этих молекул в нефтях в зоне гипергенеза (Вардропер и др. (Wardroper), 1984).

Рассчитаны соотношения триароматических и моноароматических стероидов. Отмечено, что с увеличением содержания в породах  $C_{орг}$  повышается степень ароматизации стероидов (рис. 4).

Методом ЭПР в полярных фракциях изученных образцов определены концентрации парамагнитных центров (ПМЦ). Исследование проб из обнажения на р. Молодо показало, что количество ПМЦ в смолах и асфальтенах растет по мере уменьшения концентрации  $C_{орг}$  в породах ( $R$  равен  $-0,82$  для бензольных смол,  $-0,74$  – спиртобензольных смол,  $-0,60$  – асфальтогеновых кислот,  $-0,72$  –

асфальтенов). В работах А.Э. Конторовича и Л.С. Борисовой показано, что чем больше ПМЦ, тем больше степень ароматизации вещества. Следовательно, можно предполагать, что ароматических структур в полярных фракциях высокоуглеродистых пород меньше, чем в смолах и асфальтенах углеродистых пород.

Сопоставление коэффициента ароматизации стероидов и концентраций ПМЦ с содержанием в породах  $C_{орг}$  позволило показать, что диагенетическая ароматизация органического вещества в сравнительно обедненных ОВ осадках идет активнее, чем в обогащенных. Следовательно, она зависит от pH и Eh среды.

В работе выполнен сравнительный анализ хемофоссилий в составе рассеянного ОВ пород нижнего и среднего кембрия северо- и юго-востока Сибирской платформы. Общими молекулярными признаками являются: присутствие нормальных и изопреноидных алканов, стеранов и терпанов во фракциях насыщенных углеводородов; отношение пристана к фитану и четных к нечетным n-алканов на уровне 1; повышенные концентрации этилхолестана; отсутствие в определяемых концентрациях 12- и 13-монометилалканов; распределение хейлантанов с максимальным содержанием  $C_{21}$ ,  $C_{23}$ - $C_{26}$ ; содержание гаммацера на уровне 1 % в терпановой фракции; отношение гео- и биостереоизомеров стеранов  $20S/(20S+20R)$  на уровне 0,5, триароматических стероидов  $TAC_{28S}/TAC_{28R}$  и моретанов  $C_{32S}/C_{32R}$  на уровне 1; преобладание триароматических стероидов над моноароматическими; максимальные концентрации  $TAC_{28}$  среди триароматических стероидов; минимальные содержания (2+3)-метилдibenзотиофенов по отношению к 4- и 1-МДБТ. Эти черты автохтонного ОВ пород свидетельствуют о том, что его источником были водорослевые и бактериальные организмы, обитавшие в морях с нормальной соленостью вод. По перечисленным признакам насыщенные углеводороды ОВ куонамского типа кембрийских отложений существенно отличаются от нефтей толщ рифея, венда и низов кембрия осадочных бассейнов Северо-Азиатского кратона (Петров, 1984, Каширцев и др., 1999, Конторович и др., 1999, Тимошина, 2004, Ким, 2004 и др.). Идентичность молекулярного состава обнаружена с хлороформным битумоидом карбонатной породы среднего кембрия танхайской свиты скв. Бологурская. На этом основании В.А. Каширцевым выделено новое генетическое семейство нафтидов Восточно-Сибирского региона (Каширцев и др., 1997, Конторович и др., 2005).

Отличия в содержаниях и распределениях хемофоссилий насыщенных и ароматических фракций дают возможность выделить три подтипа ОВ пород кембрия, сохранивших определенный набор биомаркеров, обусловленный особенностями биохимии микроорганизмов и параметрами среды во время седиментации и диагенеза ОВ (табл.). По-видимому, и нефти, генерированные этими подтипами ОВ, будут отличаться по тем же признакам. Соответственно, можно прогнозировать три подтипа в составе семейства нафтидов, генетически связанных с ОВ пород куонамского комплекса. В главе представлены схемы распространения подтипов автохтонного ОВ и нафтидов на востоке Сибирской платформы.

Первый подтип характеризует органическое вещество высокоуглеродистых пород, содержащих более 10 %  $C_{орг}$ . Высокие значения холестана на уровне этилхолестана и преобладание трицикланов над гопанами при повышенном соотношении стеранов и терпанов, указывают на существенный вклад планктонных водорослевых организмов в ОВ этого подтипа. При накоплении органического вещества первого подтипа, сероводородного заражения вод морского бассейна не было. Биохимическое превращение ОВ в осадке проходило в сильно восстановительных условиях и привело к образованию большого количества продуктов бактериального внедрения серы и деалкилирования стероидов. Этот подтип ОВ пока встречен только на северо-востоке Сибирской платформы в обнажении р. Молодо и приурочен к горючим сланцам. Судя по работам пятидесятых - восьмидесятых годов XX века К.К. Зеленова (1957), В.Е. Савицкого и др. (1972), С.Ф. Бахтурова и др. (1988), распространение пород, содержащих органический углерод в концентрациях более 10%, характерно для разрезов северо-востока Сибирской платформы. На юго-востоке, т.е. на северном склоне Алданской антеклизы обнаружены единичные проявления горючих сланцев на р. Лена и р. Юдома. По-видимому, не следует ожидать широкого распространения ОВ первого подтипа в кембрийских отложениях и связанных с ним нафтидов на юго-востоке Сибирской платформы.

Второй подтип ОВ характерен для углеродистых известняков и силицитов. Высокие содержания гопанов и гомогопанов и аномально низкие значения соотношений стеранов и терпанов (до 0,11-0,12), свидетельствуют о том, что основным источником этого ОВ были бактериальные сообщества. Накопление ОВ второго подтипа, вероятно, происходило в условиях сероводородного заражения вод морского

бассейна. В осадках образовывались аномальные концентрации серосодержащих соединений (табл.) и dealкилированных насыщенных и ароматических стероидов. При пониженных относительно первого подтипа содержаниях ОВ интенсивнее шли процессы ароматизации стероидов. Второй подтип впервые описан в этой работе и встречен в скв. Хоточу № 7 Лено-Амгинского междуречья. Можно предположить, что нефти, генерированные им, будут найдены на юго-востоке Сибирской платформы.

ОВ третьего подтипа также обогащены породы, содержащие менее 10%  $C_{орг}$  (табл.). Источником этого ОВ являлось планктонно-бактериальное сообщество. Условия аэрации вод в бассейне седиментации были нормальными для сохранения ОВ, но без сероводородного заражения. Вероятно, в диагенезе одним из главных процессов было дегидрирование ОВ, приводящее к повышению в нем содержаний ароматических структур. Об этом свидетельствуют высокие значения индекса ароматизации стероидов ТАС/МАС и содержание ТАС в ароматических фракциях, а также повышенные концентрации парамагнитных центров в смолах и асфальтенах. Третий подтип ОВ распространен как на северо-востоке, так и на юго-востоке Сибирской платформы. На севере он характеризует органическое вещество пород, которые чередуются в разрезе с горючими сланцами, на юге – породы, перекрывающие углеродистые отложения со вторым подтипом ОВ. Велика вероятность, что нефтиды, генерированные именно этим подтипом органического вещества, будут обнаружены повсеместно на востоке Сибирской платформы.

Анализ распределения подтипов ОВ в изученных разрезах показал, что состав микросообществ менялся по мере накопления осадков в куонамское время и на северо-, и на юго-востоке Сибирской платформы.

Выполненные исследования позволяют сделать выводы относительно: разнообразия и условий обитания простейших организмов занимавших первое место в трофической цепи биоценозов морей нижнего и среднего кембрия (1), характера преобразований аквагенного органического вещества в диагенезе (2) и нефтидогенеза (3) на территории востока Сибирской платформы.

1. На основе анализа биомаркеров выявлены биохимические особенности микропродуцентов морей куонамского времени и выделено три сообщества микроорганизмов: а) с преобладанием планктонно-водорослевой биоты, б) с преобладанием бактериальных

сообществ, в) смешенные планктонно-бактериальные биоценозы. Построена принципиальная палеобиогеографическая схема разнообразия и распространения продуцентов в куонамских морях.

2. В зависимости от содержания попавшего в морские осадки органического вещества, в диагенезе оно подвергалось разной степени преобразования. Чем больше были первоначальные концентрации ОВ, тем интенсивнее происходило бактериальное внедрение серы и деалкилирование стероидов. Концентрация биомассы в осадках и, как следствие, изменение рН и Eh среды, контролировали биологическое окисление углеводов в осадке. При относительно низких концентрациях ОВ эти процессы уступали место ароматизации.

3. На Сибирской платформе может быть найдено несколько различных по химическому составу подтипов нафтидов, образованных органическим веществом в породах нижнего и среднего кембрия.

## **5. КУОНАМСКИЙ КОМПЛЕКС ОТЛОЖЕНИЙ КАК ВОЗМОЖНЫЙ ИСТОЧНИК НЕФТЕЙ НА ВОСТОКЕ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ**

Современными физико-химическими методами получены следующие характеристики ОВ пород куонамского комплекса отложений, характеризующие его нефтегенерационный потенциал. Водородный индекс органического вещества пород и керогенов превышает 200 мг УВ / г C<sub>орг</sub>. Содержание в керогенах углерода находится на уровне 78-82 %, водорода – более 6 % и кислорода – 7-9 %. Содержание изотопов углерода в керогенах и битумоидах изменяется от -34,4 до -27,4 ‰. Отношение пристана и фитана близко 1. Отмечены высокие (равные и более 30 %) содержания трициклических УВ в терпановых фракциях. Таким образом, на новом аналитическом уровне подтверждена аквагенная природа и высокий генерационный потенциал органического вещества углеродистых и высокоуглеродистых пород куонамского комплекса на востоке Сибирской платформы.

Доказано, что изученные породы, ныне залегающие в зоне гипергенеза, являлись нефтепроизводящими, степень преобразования их органического вещества соответствует начальной стадии мезокатагенеза. На это указывают: элементный состав керогенов, значения температур максимального выхода углеводов при пиролизе пород и керогенов на уровне 430 °С, отношений четных и

нечетных алканов нормального строения близкое 1, соотношений стереоизомеров стеранов и гопана  $C_{27}$  на уровне 0,5, изомеров S и R гомогопанов и моретанов близкие 1, метилфенантренов равные 0,3-0,6.

Литоологический, битуминологический анализы и пиролиз дали возможность диагностировать в малокуонамском горизонте среднего кембрия из разреза куонамской свиты на р. Молодо нефтепроявление. Битумоидный коэффициент породы горизонта равен 22,8 %. В этом образце отмечены повышенные содержания насыщенных углеводородов (56 % на сумму УВ) против 10 – 36 % в основной массе проб. Содержание стабильного изотопа углерода в битумоиде -32,1 ‰. Общие признаки автохтонных УВ куонамской свиты и нафтида: отношение пристана к фитану и нечетных нормальных алканов к четным близко к 1; отсутствие 12- и 13- монометилалканов; максимальные концентрации ситостана среди стерановых УВ; подобное распределение хейлантанов  $C_{19-31}$ ; соотношение изомеров гопана  $C_{27}$  на уровне 0,5-0,7; низкое (1-2%) содержание гаммацерана. Сравнение ароматических фракций показало, что наибольшее сходство нафтида наблюдается с молекулярным составом битумоидов черных кремневых и карбонатных пород верхней части разреза, среди которых и залегают малокуонамский горизонт. Отмечены следующие близкие свойства: относительно пониженные содержания фенантренов (19 %) и дибензотиофенов (14 %); отношение три- и моноароматических стероидов на уровне 4,5; близкие распределения метилфенантренов и метилдибензотиофенов; подобное распределение триароматических стероидов ( $C_{26}-C_{28}$ ) с максимальными концентрациями  $TAC_{28}$  ; отношение изомеров S и R  $TAC_{28}$  равное 0,9.

Идентичное распределение хемофоссилий и близкое содержание изотопов углерода битумоидов позволяют сделать вывод о едином источнике их образования – нефтепроизводящих породах куонамской свиты. По составу и распределению биомаркеров этот нафтид близок бологурскому нефтепроявлению, описанному В.А. Каширцевым.

В интервале 392-404 м исследованной скважины известняки нижнего кембрия пропитаны нефтью. Выявлены общие молекулярные признаки нафтида с ОВ разреза в целом, а также с выделенными отличиями двух подтипов ОВ пород скв. Хоточу № 7. Углеводороды гомологического ряда 12- и 13-монометилалканов не наблюдаются. Среди стеранов в максимальных концентрациях присутствует этилхолестан (59 %). По распределению трицикланов (с аномальными содержаниями  $C_{23}$ ), гопанов (с максимумом на  $C_{29}$ ), отношению



стеранов к терпанам (0,2) биомаркеры нефтепроявления имеют близкий состав с УВ органического вещества второго подтипа нижней части разреза. Содержания групп ароматических соединений, значения коэффициентов Ф/ДБТ (5,4), ТАС/МАС (3,5) и ТАСИ (0,07) близки ароматическим фракциям третьего подтипа ОВ верхней части разреза.

Прослеженные на молекулярном уровне корреляционные связи в генетическом ряду автохтонные битумоиды→паравтохтонные битумоиды→нефть являются доказательством генерации углеводородов нефтепроизводящими породами кембрия на юго-востоке Сибирской платформы. Сравнивая состав и распределение биомаркеров нефтей, известных в Восточной Сибири (Конторович и др., 2005, и др.), с УВ нафтада скв. Хоточу № 7, можно утверждать, что на северном склоне Алданской антеклизы, обнаружен новый подтип генетического семейства куонамских нафтидов.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В работе решена задача изучения органической геохимии и оценки генерационного потенциала куонамского комплекса отложений как возможного источника нефти на востоке Сибирской платформы.

Автором впервые на молекулярном (газожидкостная хроматография, хромато-масс-спектрометрия) и атомном (элементный анализ, изотопия углерода) уровне с применением других современных методов исследования (пиролиз, спектрометрия ЭПР и др.) уточнены содержания и состав керогенов и битумоидов углеродистой кембрийской толщи на востоке Сибирской платформы. Установлено, что состав fossilized органического вещества существенно зависит от его концентрации в породах. Показано, что химические свойства органического вещества в осадках контролировались составом и структурой микроценозов, обитавших в морях нижнего и среднего кембрия на востоке Северо-Азиатского кратона, содержанием сульфат-иона в водах, наличием или отсутствием сероводородного заражения наддонных и иловых вод, рН и Eh осадка и окончательно сформировались под воздействием бактерий на стадии диагенеза. В результате действия всех этих факторов в составе единого по генезису аквагенного типа ОВ обособилось три подтипа.

Органическое вещество куонамского комплекса отложений обладает высоким генерационным потенциалом. Современный уровень катагенеза ОВ показывает, что оно на момент максимального

погружения находилось в верхней части главной зоны нефтеобразования. Выявлены и описаны нафтидопроявления, генетически связанные с нефтепроизводящими породами куонамского комплекса. Показано, что можно ожидать нахождение залежей нефтей трех подтипов, соответствующих подтипам органического вещества.

Высказано предположение, что углеродистые и высокоуглеродистые породы этого комплекса, находящиеся под мезозойскими и средне-верхнепалеозойскими отложениями на западе Вилкойской гемисинеклизы могли генерировать огромные массы нефти, подобно доманику на Восточно-Европейской платформе и баженовской свите в Западно-Сибирской геосинеклизе.

### ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. **Парфенова Т.М.**, Бахтуров С.Ф., Иванова Е.Н., Шабанов Ю.Я. Геохимия углеводородов биомаркеров органического вещества куонамской свиты кембрия Сибирской платформы // Генезис нефти и газа. – М.: ГЕОС. – 2003. – С. 442-443.

2. **Парфенова Т.М.**, Бахтуров С.Ф., Иванова Е.Н., Шабанов Ю.Я. Органическая геохимия нефтепроизводящих пород куонамской свиты кембрия (восток Сибирской платформы) // Геология и геофизика. – 2004. – Т. 45. – № 7. – С. 911-923.

3. **Парфенова Т.М.** Насыщенные углеводороды органического вещества малокуонамского горизонта среднего кембрия (северо-восток Сибирской платформы) // Тезисы докладов Второй Сибирской международной конференции молодых ученых по наукам о Земле. – Новосибирск: Новосиб. Гос. Ун-т. – 2004. – С. 137-138.

4. Конторович А.Э., **Парфенова Т.М.**, Иванова Е.Н. Ароматические углеводороды-биомаркеры и дибензотиофены в битумоидах куонамской свиты (северо-восток Сибирской платформы) // Докл. РАН. – 2005. – Т. 402. – № 6. – С. 804-806.

5. **Парфенова Т.М.** Нафтидопроявление в породах малокуонамского горизонта среднего кембрия как доказательство первичной миграции нефти в куонамской свите (северо-восток Сибирской платформы) // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2005. – № 7. – С. 26-30.

6. **Parfenova T.M.**, Ivanova E.N., Zubova E.A. Saturated hydrocarbons of oil-producing rocks of the Cambrian Kuonamka formation (Eastern Siberian platform) // Organic geochemistry: Challenges for the 21<sup>st</sup> Century (vol. 1). Book of Abstracts of the Communications presented to the 22<sup>nd</sup> International Meeting on Organic Geochemistry. – Seville, Spain. – 2005. – P. 439-440.

7. **Парфенова Т.М.** Первые данные об органическом веществе малокуонамского горизонта среднего кембрия (северо-восток Сибирской

платформы) // Новые идеи в геологии и геохимии нефти и газа. Нефтегазовые системы осадочных бассейнов. – М.: ГЕОС. – 2005. – С. 355-357.

8. **Парфенова Т.М.** Использование пиролиза и масс-спектрометрии для оценки стадии катагенеза рассеянного органического вещества // Органическая минералогия. Материалы II Российского совещания по органической минералогии. – Петрозаводск: ИГ КарНЦ РАН. – 2005. – С. 158-159.

9. Конторович А.Э., **Парфенова Т.М.**, Иванова Е.Н. Геохимия ароматических соединений куонамской свиты (северо-восток Сибирской платформы) // Материалы VI Международной конференции «Химия нефти и газа». – Томск. – 2006. – С. 24-26.

10. **Парфенова Т.М.** Смолы и асфальтены битумоидов куонамской свиты (северо-восток Сибирской платформы) // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2006. – № 7. – С. 38-41.

11. **Парфенова Т.М.** Углеводороды и дибензотиофены нафтида малокуонамского горизонта (северо-восток Сибирской платформы) // Материалы Международной научно-практической конференции к столетию со дня рождения профессора В.А. Успенского «Природные битумы и тяжелые нефти». – СПб.: Недра, 2006. – С. 157-168.

12. **Парфенова Т.М.**, Меленевский В.Н. Оценка нефтепроизводящих пород куонамского комплекса отложений Лено-Амгинского междуречья (юго-восток Сибирской платформы) // GEO-Сибирь-2007. Т. 5. Недропользование. Новые направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых: сб. материалов международного научного конгресса «GEO-Сибирь-2007». – Новосибирск: СГГА. – 2007. – С. 43-47.

13. **Parfenova T.M.**, Kontorovich A.E., Melenevsky V.N., Aksyonova N.V., Zubova Y.A., Ivanova Y.N., Yudina N.T. Organic geochemistry and oil generation potential of Kuonamka complex Cambrian deposits from Siberian platform // The 23th International meeting on organic geochemistry. Book of abstracts. – Torquay, England. – 2007. – P. 76-77.

14. **Parfenova T.M.**, Ivanova Y.N. Saturated and triaromatic steroids of aquagene organic matter of the Cambrian Kuonamka formation (eastern Siberian platform) // The 23th International meeting on organic geochemistry. Book of abstracts. – Torquay, England. – 2007. – P. 491-492.

15. **Parfenova T.M.**, Kontorovich A.E., Kashirtsev V.A. Biochemistry of Lower Paleozoic microcenosis in comparison with biota of Proterozoic and Mesozoic marine basins // II International Conference “Biosphere origin and Evolution”. Book of abstracts. – Loutraki, Greece. – 2007. – P. 142.

16. **Parfenova T.M.** Microbiota of marine basins in the Kuonamka time (eastern Siberian platform) // II International Conference “Biosphere origin and Evolution”. Book of abstracts. – Loutraki, Greece. – 2007. – P. 194.

Геохимический параметр	подтипы		
	I	II	III
Содержание органического углерода, %	> 10	< 10	< 10
Стерановый коэффициент, $C_{27}/C_{29}$	= или < 1	< 1	< 1
Содержание трицикланов в терпановой фракции, %	> 50	около 30	около 25 - 40
Содержание гопанов в терпановой фракции, %	< 40	> 60	> 50
гопаны / трицикланы	< 1	> 1	на уровне 1
стераны / терпаны	0,3 - 0,5	0,1-0,2	на уровне 0,3- 0,4
Отношение трицикланов, $C_{23}/C_{21}$	на уровне 1	3 - 4	на уровне 1 - 2
Отношение норгопана и гопана, $C_{29}/C_{30}$	< 1	> 1	< 1
Распределение групп ароматических соединений	$\Phi > \text{ДБТ} \gg \text{ТАС} > \text{МАС}$	$\text{ДБТ} > \Phi, \text{ТАС} > \text{МАС}$	$\text{ТАС} > \Phi > \text{ДБТ} > \text{МАС}$
Гомогопановый индекс, $C_{35}/C_{34}$	< 1	= или > 1	< 1
Отношение фенантронов (Ф) и дибензотиофенов (ДБТ)	> 1	< 1	> 1

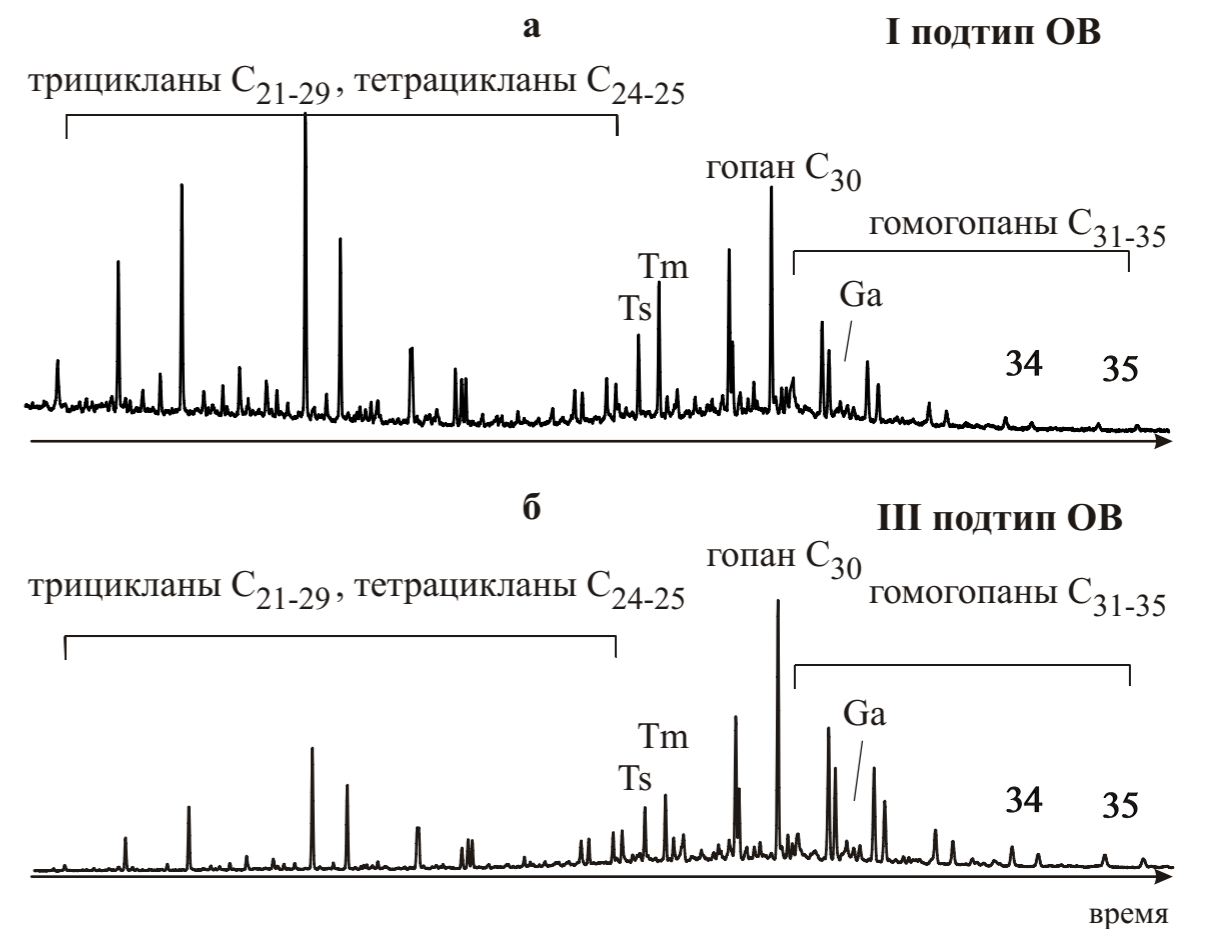


Рис. 1. Хроматограммы по ионному току  $m/z$  191 терпановых углеводородов высокоуглеродистых (а) и углеродистых пород (б) коллекции р. Молодо.

Табл. Подтипы органического вещества в породах куонамского комплекса отложений на северо- и юго-востоке Сибирской платформы.

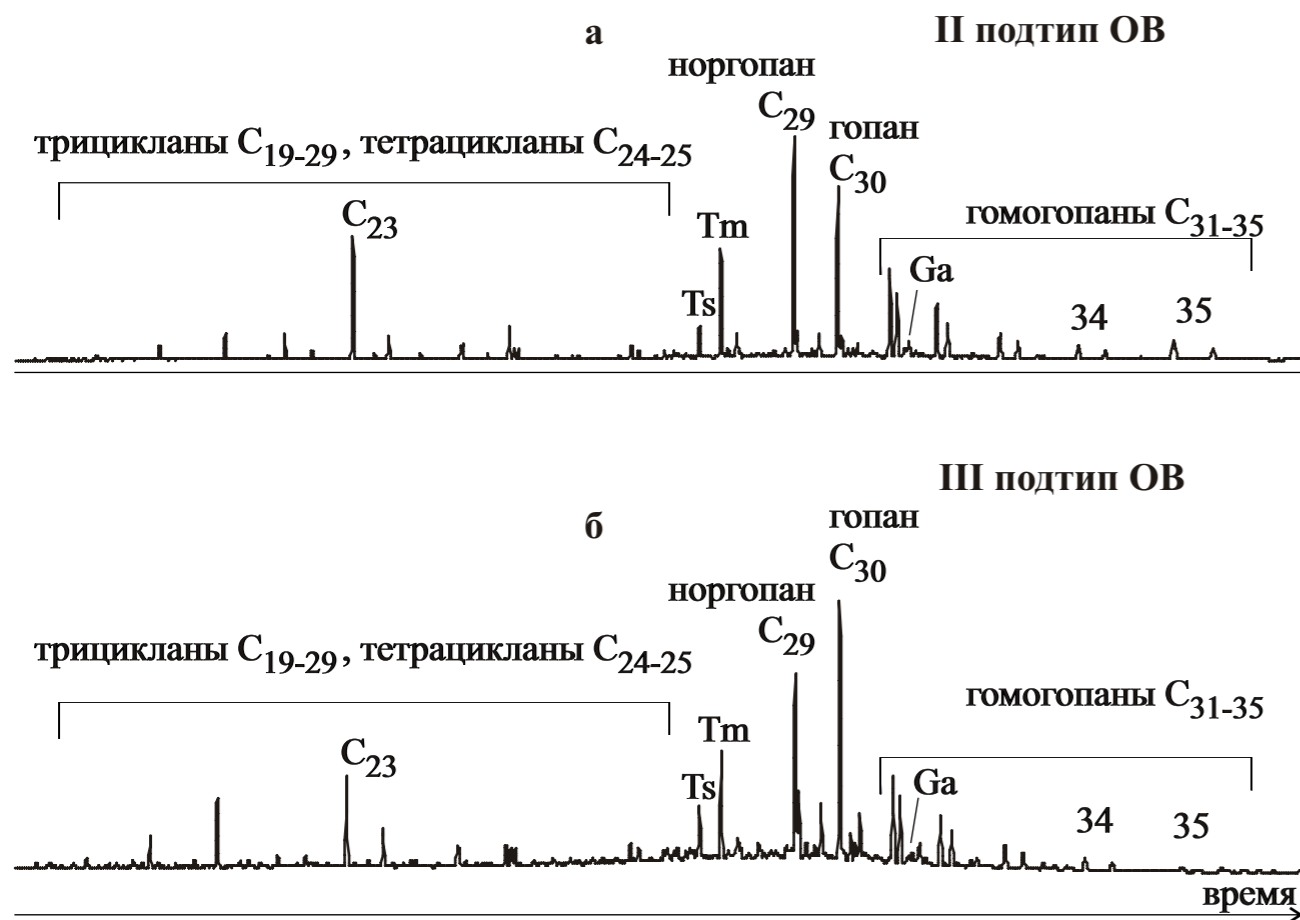


Рис. 2. Хроматограммы по ионному току  $m/z$  191 терпановых углеводородов пород нижней (а) и верхней (б) частей разреза скв. Хоточу № 7.

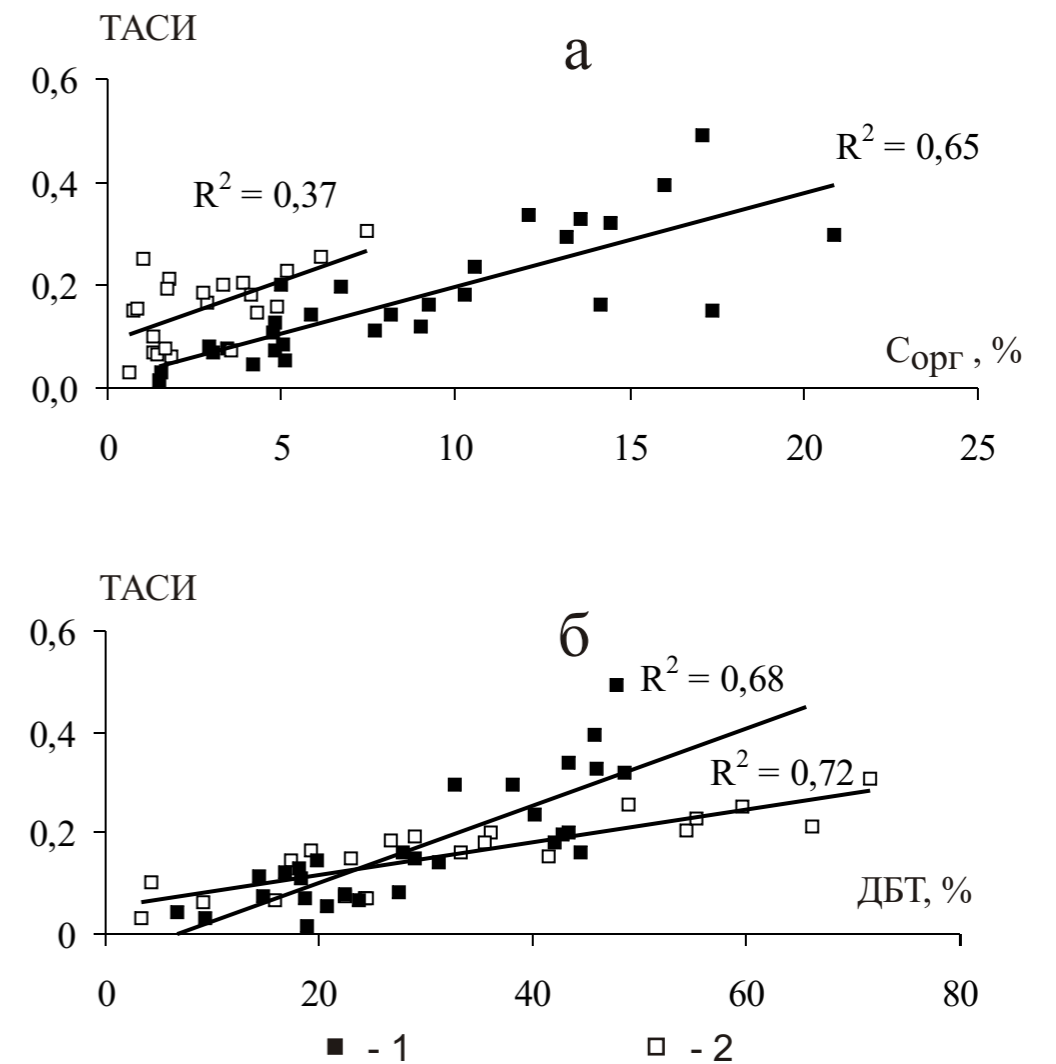


Рис. 3. Зависимости индекса триароматических стероидов ( $TASI = (TAC_{20-21}) / (TAC_{20-21} + TAC_{26-28})$ ) от содержания органического углерода в породах (а) и дибензотиофенов (б) в определяемых ароматических соединениях куонамского комплекса отложений на северо- и юго-востоке Сибирской платформы (1 - коллекция р. Молодо, 2 - коллекция скв. Хоточу № 7).

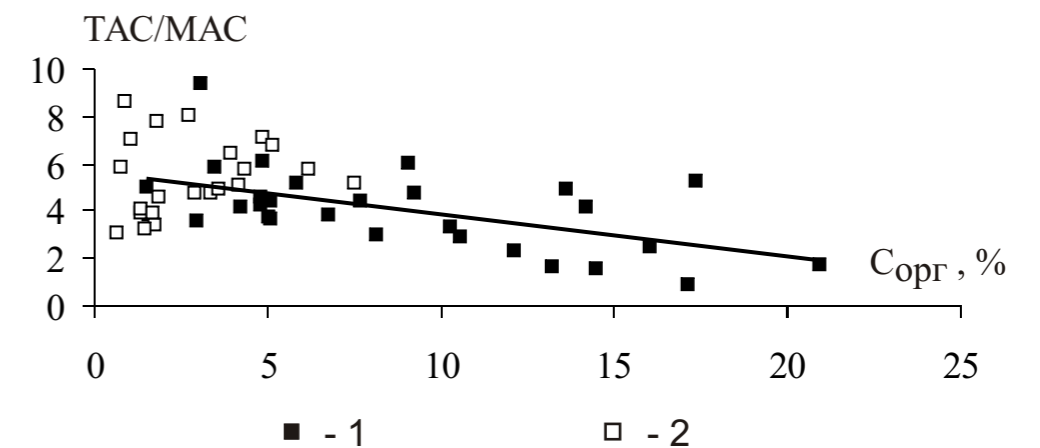


Рис. 4. Зависимость коэффициента ароматизации стероидов (ТАС/МАС) от содержания органического углерода в породах куонамского комплекса отложений на северо- и юго-востоке Сибирской платформы (1 - коллекция р. Молодо, 2 - коллекция скв. Хоточу № 7).