

УДК 552.57(234.83)"551.734.5"

## ОСОБЕННОСТИ СОСТАВА ВЕРХНЕДЕВОНСКИХ УГЛИСТЫХ ПОРОД (р. СУЛА, СЕВЕРНЫЙ ТИМАН)

© 2023 г. О. С. Котик<sup>a, \*</sup>, Н. В. Пронина<sup>b, \*\*</sup>,  
Н. С. Инкина<sup>a, \*\*\*</sup>, П. А. Безносков<sup>a, c, \*\*\*\*</sup>

<sup>a</sup>Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН,  
ул. Первомайская, 54, Сыктывкар, 167982 Республика Коми, Россия

<sup>b</sup>Геологический факультет Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова,  
Ленинские горы, 1, Москва, 119234 Россия

<sup>c</sup>Казанский (Приволжский) федеральный университет, ул. Кремлевская, 18, Казань, 420008 Россия

\*e-mail: olya.procko@gmail.com

\*\*e-mail: nvproncl@mail.ru

\*\*\*e-mail: nsinkina@geo.komisc.ru

\*\*\*\*e-mail: beznosov@geo.komisc.ru

Поступила в редакцию 19.01.2023 г.

После доработки 24.03.2023 г.

Принята к публикации 20.04.2023 г.

Проведено детальное углепетрографическое и минералого-геохимическое исследование гумусовых углей и углистых пород в саргаевских отложениях верхнего девона Северного Тимана (р. Сула), являющихся примером захоронения наиболее древних растений углеобразователей. В разрезе выделены следующие типы органических пород: “гагатоподобный” уголь, липтобиолитовый алевроглинистый уголь и алевро-глинисто-углистые микстолиды. Изученные угли и углистые породы сложены гумусовыми органическими компонентами, представленными витринитовыми и липтинитовыми мацералами, инертинитовая группа имеет подчиненное значение. Среди витринитовых мацералов присутствуют гелинит, коллотелинит и телинит (ксиленит), липтинитовых – споринит, кутинит, липтодетринит, битуминит, альгинит и смолоподобное вещество, а инертинитовых – инертдетринит, семифюзинит, фюзинит и фунгинит. Полученные значения отражательной способности витринита  $RV = 0.45–0.55\%$  указывают на невысокий уровень зрелости органического вещества, соответствующий переходу от конца протокатагенеза (градация  $PK_3$ ) к началу мезокаатагенеза (градация  $MK_1$ ). Минеральная составляющая микстолидов и высокозольных углей состоит из каолинита, хлорит/сметита (с преобладанием хлоритовой компоненты) и кварца.

**Ключевые слова:** верхний девон, уголь, углистые породы, мацеральный и минеральный состав, отражательная способность витринита.

**DOI:** 10.31857/S0024497X23700192, **EDN:** WPROSP

Девонский период являлся временем появления и активного распространения на суше лесных растительных сообществ, способствовавших формированию первых зон торфонакопления. Лесные сообщества были представлены плауновидными, археоптерисовыми, папоротниками и членисто-стебельными, которые произрастали в долинах рек и прибрежных областях небольших морей [Мейен, 1989; Снигиревский и др., 2017; Безносков и др., 2018].

Девонские угли распространены в различных регионах мира: о-ва Девон, Элсмир, Баффинова Земля в Полярной области Канадского архипелага, о. Медвежий (Норвегия), юг Западной Сибири (Кузнецкий бассейн, р. Барзасс), Китай и Север-

ный Тиман [Первухина, 1940; Степанов, 1937; Матвеев, 1979; Goodarzi, Goodbody, 1990; Volkova, 1994; Kennedy, Gibling, Eble et al., 2013]. К наиболее древним относятся угольные пласты, встреченные в интервале отложений от позднеживетского до среднефранского возраста на островах Канадского архипелага, относимые к кеннельским углям с обилием споровых элементов [Goodarzi, Goodbody, 1990]. Аналогичные по возрасту, но имеющие другой состав липтобиолитовые угли были описаны в Китае [Han, 1989; Cheng, Han, 1995; Dai et al., 2006; Song, Wang, Zhong et al., 2021]. Подобные угли были обнаружены А.А. Черновым еще в 1920-е годы прошлого столетия в отложениях эйфель-раннеживетского возраста на Северном Тимане (север Европейской части России)

[Чернов, 1947; Первухина, 1940; Volkova, 1994]. В дальнейшем на территории Тимана было установлено месторождение и более десятка проявлений бурого и каменного угля, которые приурочены к разным стратиграфическим уровням девона (от Эйфеля до Фамена) [Государственная ..., 2013; Снигиревский и др., 2017].

Исследованные углепроявления из разреза по р. Сула Северного Тимана являются примером накопления растительных остатков во франское (саргаевское) время позднего девона. Углетрографическая характеристика состава органических компонентов позволяет судить о многообразии растительного материала, формирующего древние зоны угленакопления. Целью исследований являлся анализ состава одних из наиболее древних углепроявлений на основе детальных углетрографических, литологических и геохимических методов.

#### ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЙ И ХАРАКТЕРИСТИКА РАЗРЕЗА НА р. СУЛА

Район исследований расположен в пределах Тиманской гряды на северо-востоке Европейской части России (рис. 1а). Тиман представляет собой древнюю пенепленизированную гряду, протягивающуюся от верховьев р. Вычегда на юге до побережья Чёшской губы на севере. В тектоническом плане гряда занимает северо-восточный внешний угол Восточно-Европейской платформы и разделяет Русскую и Печорскую плиты [Тимонин, 1998; Оловянишников, 2004]. Исследуемая территория находится в южной части восточного крыла Северотиманского вала (см. рис. 1). В осевой части Тимана преимущественное развитие имеют поля выходов девонских пород (см. рис. 1б), среди которых основная доля приходится на отложения франского яруса [Цыганко, 2006]. Изученный разрез, расположенный в среднем течении р. Сула ниже Сульского водопада, охватывает интервал кумушкинской, вычейской, груборучейской и рассохинской свит (см. рис. 1в, 1г). Последние две представлены фациально близкими отложениями, которые не имеют между собой четко выраженной границы, и поэтому рассматриваются как единая толща. Прослой углей и углистых пород приурочены только к нижней части груборучейской свиты. Этот интервал разреза довольно скудно охарактеризован палеонтологическими остатками. Кроме углефицированных фрагментов растений, стратиграфически индифферентных, здесь встречены крайне обедненные комплексы миоспор, характерные для саргаевского горизонта [Государственная ..., 2013]. Также среди остатков позвоночных здесь отмечен вид-индекс плакодермовой зоны *Bothriolepis cellulosa*, отвечающей на Тимане низам устьярегско-

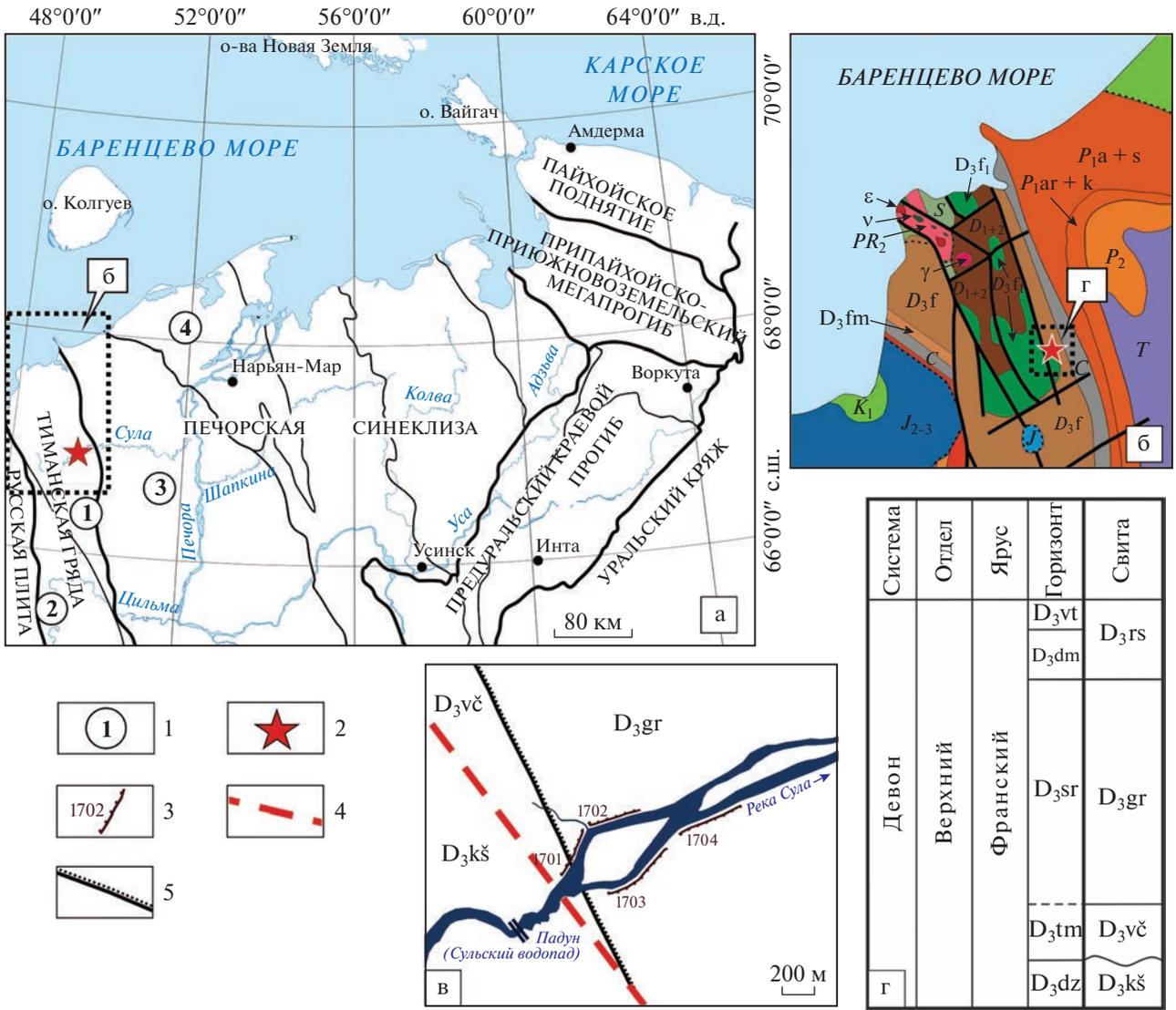
го (саргаевского) горизонта [Esin et al., 2000; Зональная ..., 2006], что позволяет отнести интервал, содержащий угли и углистые породы, к этой части верхнедевонского разреза [Зональная ..., 2006]. Формирование рассматриваемой толщи, по всей видимости, происходило в мелководных прибрежно-морских обстановках, представляющих собой переходные фации от дельтовых на севере [Чернов, 1947; Безнососов и др., 2018; Снигиревский и др., 2022] к развитым южнее нормально-морским отложениям [Цыганко, 2006]. В других частях Тимана, а также на п-ове Канин, составляющем с ним единую геологическую структуру, иные углепроявления раннесаргаевского возраста неизвестны.

#### *Характеристика разреза*

В районе Сульского водопада вскрывается один из наиболее полных разрезов саргаевского (устьярегского) горизонта Тимана (см. рис. 1в), который представлен здесь толщей переслаивания песчаников, алевролитов и аргиллитов с преобладанием первых (рис. 2а). Песчаники разнозернистые и имеют серую и зеленовато-серую окраску, пологую косую и горизонтальную слоистость. В основании их пластов встречены гальки глинистых пород, на поверхностях напластования присутствуют знаки ряби и следы волочения. Участками отмечаются седиментационные подводно-оползневые складки. На нескольких уровнях в разрезе присутствуют конкреции: пиритовые — до 2 см диаметром, сидеритовые — до 15 см и песчаные — до 60 см. В последних часто встречаются скопления неопределимых растительных остатков, приуроченных к плоскостям напластования (см. рис. 2б). Алевролиты присутствуют в разрезе в подчиненном количестве, имеют темную голубовато-серую окраску, тонкоплитчатую отдельность и горизонтальную слоистость. В них также присутствуют остатки растений плохой сохранности. Аргиллиты встречаются в разрезе еще реже и характеризуются комковатой текстурой, скорлуповатой и мелкооскольчатой отдельностью. Суммарная мощность изученного разреза составляет 45 м, из которых интервал, содержащий углистые породы, занимает около 15 м.

Углепроявления встречены в разрезе в двух разновидностях: 1 — в виде отдельных прослоев полосчатых углей и углистых пород (см. рис. 2г); 2 — в виде гнезд и линз блестящих углей в песчаных слоях (см. рис. 2в). Наиболее мощные прослой — 0.2 м характерны в основном для нижней части разреза (см. рис. 2а). Авторами выявлены три типа углистых пород, для которых проводились детальные исследования.

Полосчатые угли и углистые породы сильно трещиноваты с пленками оксидов и гидроксидов железа. В основной массе присутствует большое



**Рис. 1.** Обзорная карта района исследований и положение изученного разреза. а – тектоническая карта (по [Прищепа и др., 2011] с упрощениями); б – выкопировка из геологической карты Северного Тимана (по [Оловянишников, 2007] с изменениями); в – схема естественных выходов франских отложений в бассейне р. Сула; г – Стратиграфическое расчленение франских отложений верхнего девона Северо-Тиманской структурно-формационной зоны (по [Геологическая ..., 2014] с изменениями). 1 – тектонические структуры (1 – Северо-Тиманский мегавал, 2 – Западно- и Средне-Тиманские дислокации, 3 – Ижма-Печорская синеклиза, 4 – Малоземельско-Колгуевская моноклинали); 2 – исследуемый разрез; 3 – естественные выходы; 4 – разлом; 5 – стратиграфическая граница. Горизонты: D<sub>3</sub>dm – доманиковский, D<sub>3</sub>vt – ветласянский, D<sub>3</sub>sr – саргаевский, D<sub>3</sub>tm – тиманский, D<sub>3</sub>dz – джьерский; свиты: D<sub>3</sub>rs – рассохинская, D<sub>3</sub>gr – груборучейская, D<sub>3</sub>vč – выучейская, D<sub>3</sub>kš – кумушкинская.

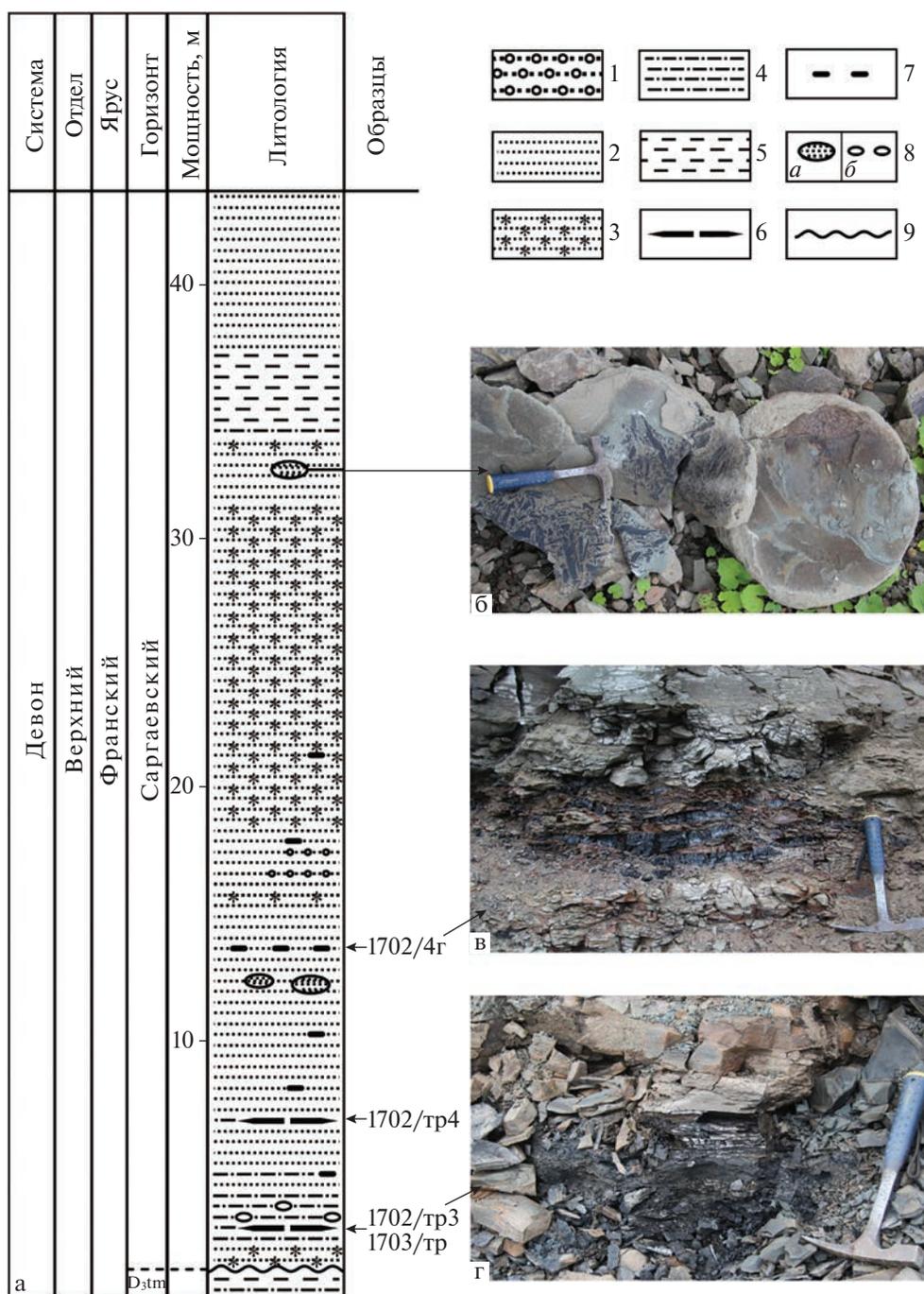
количество микро- и мегаспор, а также многочисленные остатки травянистых плауновидных растений, отнесенных С.М. Снегиревским к роду *Helenia*.

Блестящие угли – однородные, черные, вязкие с раковистым изломом и со следами древесной структуры на изломе. Такие выделения блестящего угля упоминались в рассматриваемых отложе-

ниях И. Б. Волковой [Volkova, 1994], которая описывала их как отдельный тип.

### МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для изучения органического вещества саргаевских отложений использовались углепетрографические методы, а для характеристики минераль-



**Рис. 2.** Сводный разрез (а) терригенных верхнедевонских отложений (р. Сула); песчаные конкреции с растительными отпечатками (б); линзы углей (обр. 1702/4г) (в); прослой углистых пород (обр. 1702/тр3) (г). 1 – конгломерат; 2 – среднезернистый песчаник; 3 – мелкозернистый песчаник с алевритовой примесью; 4 – алевролит; 5 – аргиллит; 6 – уголь и углистые породы; 7 – линзы блестящих углей; 8 – конкреции (а – песчаные, б – сидеритовые); 9 – несогласное залегание.

ной составляющей пород применялись химические (силикатные, рентгенофазовые), оптико- и электронно-микроскопические методы.

Состав глинистой фракции пород определялся рентгенофазовым методом (дифрактометр Shimadzu XRD-6000, излучение –  $\text{CuK}\alpha$ ). Полуколичественный рентгенофазовый анализ глинистой

фракции был выполнен с помощью программы Sibilla©, которая позволяет распознавать смешанослойные минералы различного состава.

Для изучения микроструктуры и химического состава минералов использовались оптический (микроскоп Полам-215, Leica DM 2700) и электронно-микроскопический методы (сканирующий

электронный микроскоп Tescan Vega 3 LMN с приставкой энергодисперсионного анализа X-Max 50 Oxford Instruments). Для определения состава породы был проведен химический 14-компонентный силикатный анализ и изучена тяжелая фракция.

Углепетрографические исследования проводились по шлифам и аншлифам в простом, белом и ультрафиолетовом (УФ) свете и включали мацеральный анализ и замеры показателя отражения. Органическое вещество (ОВ) в породах изучалось с помощью микроскопов MeF-2, Nikon Eclipse E400Pol, Leica DM-2700 (ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар) и Leica DM-2500 (МГУ, Москва). Замеры показателя отражения витринита (RV, %) производились на микроскопе Leica DM-2500 с установкой QD1302 (Craic Technologies, МГУ, Москва) в масле с объективом  $\times 50$  и эталоном Yttrium-Aluminium (RV – 0.905%), согласно ГОСТу [ГОСТ Р 55659-2013] и ISO [ISO 7404-5: 2009].

Все аналитические исследования проводились на приборной базе ЦКП “Геонаука” (Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар) и кафедры горючих полезных ископаемых МГУ им. М.В. Ломоносова (г. Москва).

Углепетрографические исследования проводились О.С. Котик и Н.В. Прониной, интерпретация результатов и сравнение с другими регионами мира – О.С. Котик. Изучение минеральной составляющей углистых пород – Н.С. Инкина. Описание разреза, его биостратиграфическая характеристика и отбор проб углей и углистых пород проводились П.А. Безносковым.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Как указано выше среди изученных типов углистых пород выделены: блестящий уголь (обр. 1702/4г, зольность ( $A^d$ , %) – 1.8%), высокозольный уголь (обр. 1703/тр,  $A^d$ , % – 37.1%) и углистые породы (обр. 1703/тр3 и 1702/тр4,  $A^d$ , % – 55.6–56.8%).

### *Мацеральный состав органического вещества и его катагенетическая преобразованность*

По данным углепетрографического анализа породы (рис. 3–6) можно разделить на два типа. Первый – блестящий уголь (обр. 1702/4г), линзы которого встречаются в толще песчаников (см. рис. 2в). Основное углеобразующее вещество представлено коллотелинитом ( $Vt_{ct}$ , см. рис. 3, 5а–5г). Телинит ( $Vt_t$ ) идентифицируется по хорошо сохранившимся, древесным клеточным структурам (ксиленитовым), упорядоченность которых хорошо заметна при меньшем увеличении (см. рис. 5а, 5б). Полости телинита заполнены в основном смоло-

подобным веществом, точнее его следами, которые выглядят как примазки внутри ксилениита. В отличие от всей основной массы именно эти участки ярко светятся желтыми тонами в УФ свете (см. рис. 6б, 6г).

Ко второму типу относятся углистые породы (обр. 1702/тр3, 1702/тр4) с повышенным содержанием ОВ (до 30–40% в шлифе) и высокозольный уголь (обр. 1703/тр, 60% ОВ в шлифе). Доли витринитовых и липтинитовых компонентов в них примерно одинаковые, а инертнитовых не превышают 8% (см. рис. 3).

Среди витринитовых мацералов определены следующие: телинит, гелинит и коллотелинит с преобладанием последних. Телинит встречен в высокозольном угле (обр. 1703/тр) в виде небольших прослоев и линз (см. рис. 5е). Некоторые прослои витринита имеют признаки частичного окисления (см. рис. 5и).

Второй по распространению и наиболее разнообразной (см. рис. 3–6) является группа липтинитовых (L) мацералов. Основная часть липтинитовых компонентов приходится на споринит ( $L_{sp}$ ), который представлен мега- и микроспорами, разной степени сохранности (см. рис. 4–6). Встречаются целые спорангии, образующие иногда удлиненные и линзовидные скопления, которые отличаются от других мацералов показателем отражения, структурными признаками и рельефом, что не всегда можно продемонстрировать на одном снимке (см. рис. 4г, 4д, 5д). Из других компонентов группы встречается куитинит ( $L_k$ ) с зубчатыми краями, хорошо наблюдаемый в УФ (см. рис. 6ж, 6з). В минеральных прослоях присутствует большое количество обрывков липтинита (см. рис. 4а–4в, 5м–5о), относимых к липтодетриниту ( $L_{det}$ ). Среди липтинитовых включений встречаются образования по внутреннему строению и цвету напоминающие водорослевые тела (см. рис. 4и, 5к, 5л, 6н, 6о). Сходные водорослевые остатки были диагностированы в углях Кузнецкого угольного бассейна [Атлас ..., 1966, с. 231–233]. Липтинитовые компоненты образуют целые прослои в минеральной глинистой массе между витринитовыми слоями (см. рис. 4а–4в, 5е–5з, 5м–5о). Здесь имеются участки, представляющие бесформенной массой, которую можно отнести к бесструктурному битуминиту ( $L_{bit}$ ), наиболее распространенному в высокозольном угле (обр. 1703/тр, см. рис. 6п, 6р).

Новообразованные жидкие битумы, выделившиеся из материнского вещества при катагенетическом преобразовании, пропитывают всю минеральную массу углистых пород и высокозольного угля. ОВ и битумы (Bit) имеют слабую люминесценцию в УФ-освещении (см. рис. 6д, 6е).

Группа инертнитовых (I) компонентов многочисленна и в основном приурочена к

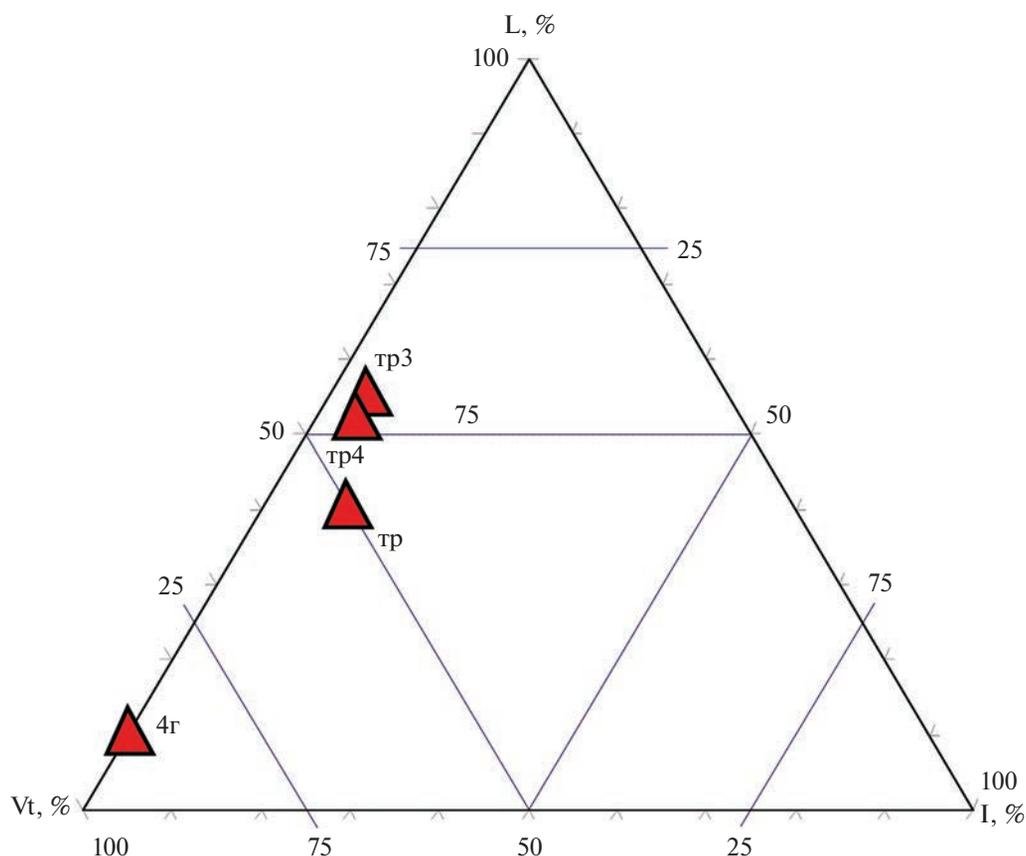


Рис. 3. Мацеральный состав ОВ углей и углистых пород верхнего девона Северного Тимана (р. Сула).

минеральным прослоям в высокозольном угле (обр. 1703/тр). Среди компонентов группы преобладает фрагментарный инертодетринит ( $I_{det}$ , см. рис. 5з), единично встречаются фюзинит ( $I_f$ ), семифюзинит ( $I_{sf}$ , см. рис. 5ж) и фунгинит ( $I_{fg}$ ).

Измерения показателей отражения проводились по бесструктурным компонентам группы витринита. В блестящем угле (обр. 1702/4Г) измерения сделаны по коллотелиниту, являющимся основным углеобразующим веществом, и составили  $RV = 0.47\%$ , при средних отклонениях  $St_{dev} = 0.04$ . В углистых породах (обр. 1702/тр3, 1702/тр4) и высокозольном угле (обр. 1703/тр) измерения проводились по бесструктурным прослоям витринита, которые имеют однородные и выдержанные участки и встречаются повсеместно в породах. Полученные значения показателя отражения  $RV, \%$  изменяются в диапазоне от 0.45 до 0.548% (при  $St_{dev} = 0.03-0.04$ ).

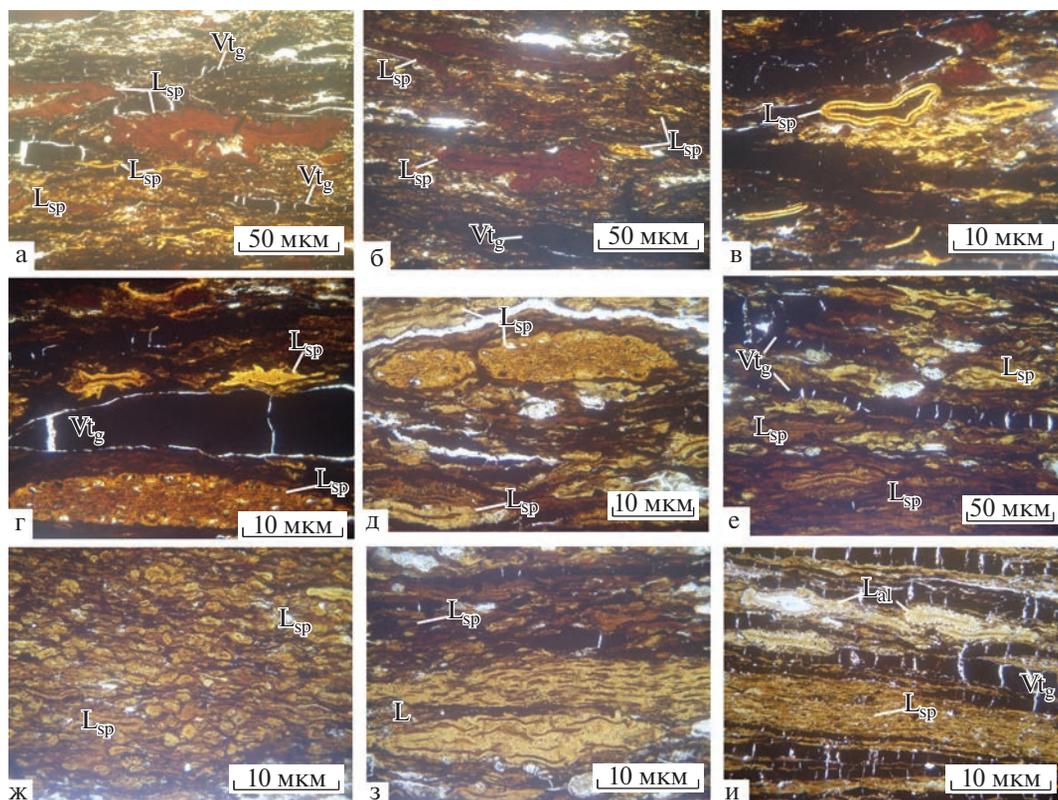
В целом, измеренные значения  $RV, \%$  находятся в одном диапазоне от 0.45 до 0.55% и соответствуют переходу от конца протокатагенеза (градация ПК<sub>3</sub>) к началу мезокатагенеза (градация МК<sub>1</sub>), что сопоставимо с началом этапа нефтеобразования.

#### Минеральный состав углистых пород

Исследование минеральной составляющей проводилось в углистых породах и высокозольном угле. Среди минеральной составляющей преобладают глинистые минералы и кварц.

Рентгенофазовым анализом определены каолинит, хлорит/сметтит (с преобладанием хлоритовой компоненты), слабоупорядоченный смектит и иллит/сметтит (И/С). Каолинит является преобладающим и самым распространенным минералом. Хлорит/сметтит (Х/С) диагностирован в образцах 1702/тр4 и 1703/тр.

По данным микрозондового (результаты представлены в табл. 1 в оксидной форме, мас. %) и оптико-микроскопического анализов в породе можно выделить две основные группы глинистых минералов. К первой группе отнесен минерал, распространенный во всех породах в виде тонких (иногда нитевидных) слоев в основной массе, обволакивающих другие структурные компоненты, а также встреченный внутри прослоев бесструктурного органического вещества (рис. 7в, 7д). Часто наблюдается спутанно-волокнистая текстура. По составу их можно аттестовать как магнезиально-титанисто-железистые алюмосиликаты



**Рис. 4.** Микрофотографии ОВ верхнедевонских пород в шлифах (проходящий свет). Увел. а, б, е —  $\times 80$ ; в–д, ж–и —  $\times 40$  (обр.: 1702/тр3 — а–г, 1702/тр4 — д–з, 1703/тр — и). а, б — мегаспores (оранжево-красные), микроспores (желтые) и линзы  $Vt_g$  в основной массе; в — микроспоринит; г, д — спорангии и скопления споринита между линзами  $Vt_g$ ; е — прослои  $Vt_g$  среди скоплений споринита; ж — скопления споринита; з — скопления споринита и тела липтинитовой массы; и — скопления альгинита ( $L_{al}$ ) между  $Vt_g$  прослоями.

$Al_2O_3 = 22.73\text{--}29.05$ ,  $SiO_2 = 38.27\text{--}48.31$ ,  $FeO = 4.69\text{--}8.95$ ,  $TiO_2 = 1.19\text{--}4.8$ ,  $MgO = 0.94\text{--}1.72$ ,  $CaO = 0.52\text{--}0.86$ ,  $K_2O = 0.1\text{--}0.23$ ,  $V_2O_5 = 0\text{--}0.46$ . Так как основными компонентами являются  $Al_2O_3$  и  $SiO_2$ , и, учитывая результаты рентгенофазового анализа, данные минералы отнесены к группе каолинита.

Ко второй группе отнесены минералы, обнаруженные в образцах 1702/тр4 и 1703/тр. Они представлены крупными (размером до 0.3 мм) изометричными и удлинёнными зёрнами желтовато-зеленоватого и грязно-зеленого цвета, со слабым плеохроизмом, часто с темными микровключениями. Иногда зёрна сложены мелкими агрегатами. Некоторые из них имеют радиально-лучистое строение, а в других видна микросферолитовая структура (см. рис. 7а–7в). По составу выделяется две разновидности: 1) названные условно “обычные”  $MgO = 3.45\text{--}5.71$ ,  $Al_2O_3 = 15\text{--}18.7$ ,  $SiO_2 = 28.9\text{--}34.01$ ,  $FeO = 26.3\text{--}29.9$ ,  $TiO_2 = 0.33\text{--}0.82$ ,  $CaO = 0.46\text{--}0.55$  и 2) титанистые  $MgO = 4.12\text{--}6.44$ ,  $Al_2O_3 = 16.5\text{--}19.65$ ,  $SiO_2 = 30.61\text{--}39.7$ ,  $FeO = 17.5\text{--}28.48$ ,  $TiO_2 = 1.39\text{--}4.07$ ,  $CaO = 0.44\text{--}1.06$ . Основными компонентами

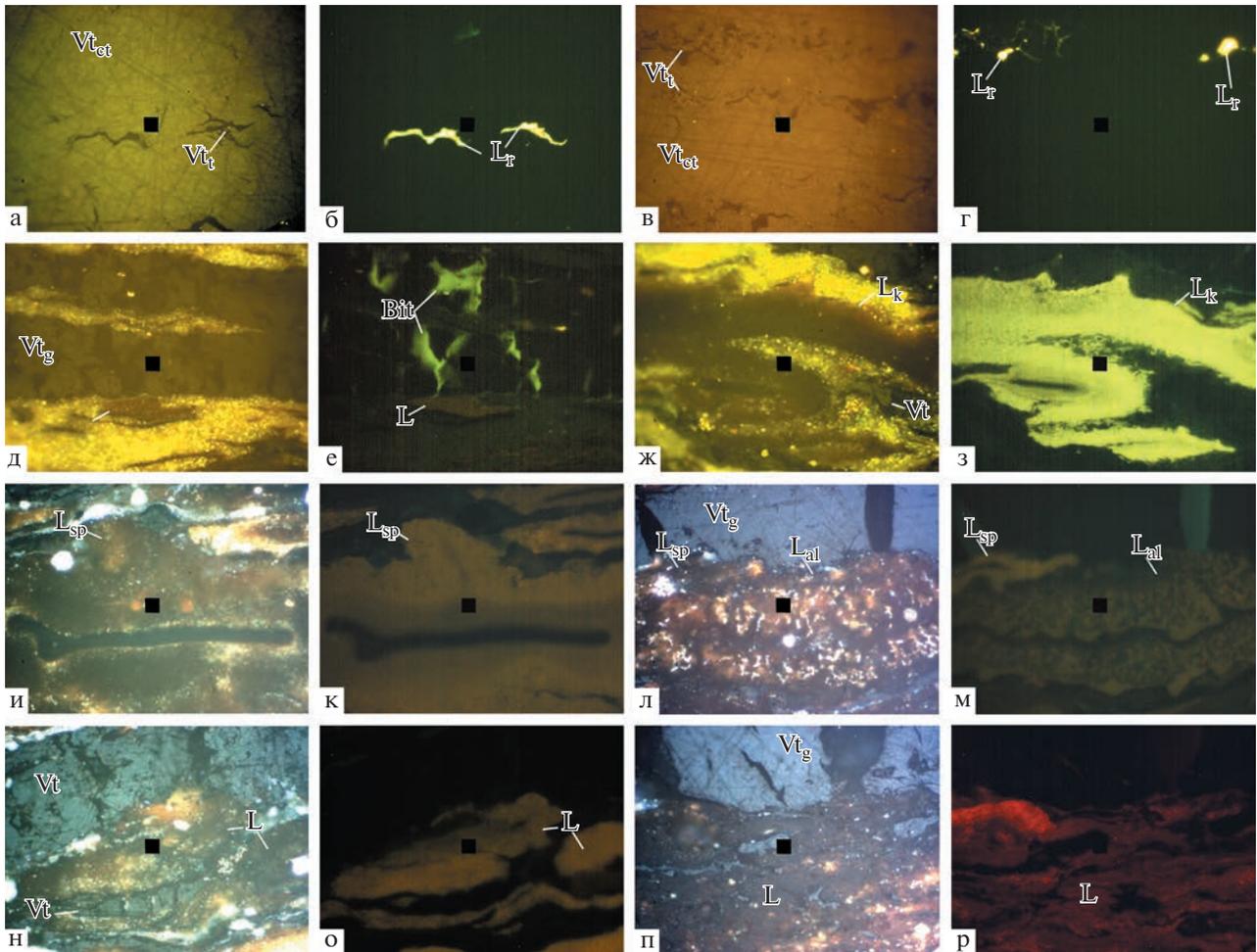
здесь являются  $MgO$ ,  $FeO$ ,  $Al_2O_3$  и  $SiO_2$  и, учитывая результаты рентгенофазового анализа, минералы данной группы отнесены к хлорит/сметкитам.

Титанистость алюмосиликатов обусловлена отдельными микровключениями (размером  $<0.005$  мм) минералов группы рутила (барукит?), которые чаще распределены хаотично, но иногда образуют скопления более изометричной или вытянутой формы (см. рис. 7е).

Кварц распространен в виде монокристаллических зёрен алевритовой размерности (обычно  $\leq 0.02$  мм, реже до 0.08 мм). Кроме перечисленных выше минералов, в породах встречен пирит в виде многочисленных рассеянных мелких зёрен и более крупных фрамбоидов (см. рис. 7г). Обычно образование фрамбоидов пирита связывают с микробальной природой, за счет сульфатредуцирующих бактерий в раннем диагенезе [Волкова, 1990; Иванова и др., 2007]. Также диагностированы ильменит, полевые шпаты, барит, гипс, биотит, титанит, кианит, гранат, минералы групп амфибола и пироксена.

Результаты силикатного анализа, с учетом комплекса проведенных исследований пересчитаны





**Рис. 6.** Микрофотографии ОВ в аншлифах верхнедевонских пород в простом белом (а, в, д, ж, и, л, н, п) и ультрафиолетовом (б, г, е, з, к, м, о, р) свете. Увел. а–р –  $\times 50$  oil (обр.: 1702/4г – а–г, 1702/тр3 – д–з, 1702/тр4 – и–о, 1703/тр – п, р).

а, в – прослои и участки телинита ( $Vt_t$ ) в коллотелинитовой массе ( $Vt_{ct}$ ) “гагатоподобного” угля; б, г – смолоподобное вещество ( $L_r$  – желтый) в  $Vt$ ; д – прослои гелинита ( $Vt_g$ ) и  $L$  включение, е – тоже (д) с битумом (Bit); ж, з – кутинит; и, к – мегаспоры с щелью и отдельными слоями с разной степенью трансформации; л, м – комковатое включение  $L$  с более яркой оранжевой микроспорой (м); н, о –  $L$  мацералы с потерей целостности при трансформации вещества; п, р – бесструктурная  $L$  масса (битуминит) с фрагментами (серого) витринита.

на минеральный состав породы и приведены в таблице (см. табл. 1).

В одном из исследуемых образцов (обр. 1702/тр4) установлено высокое содержание  $Fe_2O_3$ . По данным ИК-спектроскопии и ЭПР повышенное содержание  $Fe^{3+}$  коррелируется с его смектитовым составом. Основная часть  $Fe^{3+}$  представлена кластерами  $Fe^{3+}-O-Fe^{3+}$  в слоистых силикатах (смектитах) и ультрадисперсными оксигидроксидами железа (гетит, лимонит и др.). При этом следует отметить, что нонтронит (железистый смектит) рентгенофазовым анализом не установлен. Однако, если принять, что большая часть  $Fe_2O_3$  входит в состав смектитов, то при пересчете на минеральный состав, содержание хлоритоподобных минералов значительно увеличится.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

### *Особенности петрографического состава ОВ*

При петрографических исследованиях установлена закономерность в распределении ОВ и минеральных компонентов. Большая часть витринита приурочена к каолиновой основной массе, а споринит и другие компоненты группы липтинита к прослоям, обогащенные обломочным материалом. Такое распределение может указывать на последовательное накопление бесструктурных и форменных (и структурных) элементов ОВ, т.е. сезонный привнос форменных липтинитовых компонентов совместно с обломочным материалом в места захоронения органической и глинистой (каолиновой) основной массы.

**Таблица 1.** Химический и нормативно-минеральный состав верхнедевонских пород (мас. %)

Компонент	№ проб		
	1703/тр	1702/тр3	1702/тр4
Химический состав			
SiO <sub>2</sub>	24.79	36.5	22.09
TiO <sub>2</sub>	1.07	2.55	3.61
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.18	14.99	11.71
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.06	1.67	12.8
FeO	3.22	4.27	7.16
MnO	0.02	0.04	0.06
MgO	0.72	1.31	1.6
CaO	0.57	1.02	0.57
Na <sub>2</sub> O	0.1	0.09	0.07
K <sub>2</sub> O	0.12	0.15	0.18
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.01	0.02	0.35
П.п.п	61.78	37	39.21
SO <sub>3</sub>	0.1	0.09	1.27
Сумма с п.п.п	99.94	99.7	100.68
CO <sub>2</sub>	<0.1	0.3	0.46
H <sub>2</sub> O	3.32	4.12	5.8
Нормативно-минеральный состав			
Каолинит	≈12	≈29	≈15
Хлоритоподобные минералы (смектиты и X/C)	≈10	≈13	≈22
Иллит	≈0.8	≈2	≈1.6
Кварц	≈16	≈18	≈10
Рутил	≈1	≈2	≈4
Титанит	—	≈2	—
Минералы Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—	≈1.6	≈12

Примечание. При пересчете TiO<sub>2</sub> условно отнесен к рутилу, кроме обр. 1702/тр3, где обнаружен титанит. Установленные рентгенофазовым анализом смектиты и смешанослойные образования И/С и X/С оптико- и электронно-микроскопическими методами не разделяются, поэтому данные минералы условно объединены в одну группу и пересчитаны, как хлоритоподобные минералы. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> выделен в отдельную фазу, т.к. определить его положение не удалось.

Многокомпонентный состав, повышенное содержание липтинитовых мацералов и их разнообразие позволяет отнести рассмотренные угли к липтобиолитовым. Такой тип углей встречается в средне-верхнедевонских отложениях в различных регионах мира [Volkova, 1994; Kennedy et al., 2013].

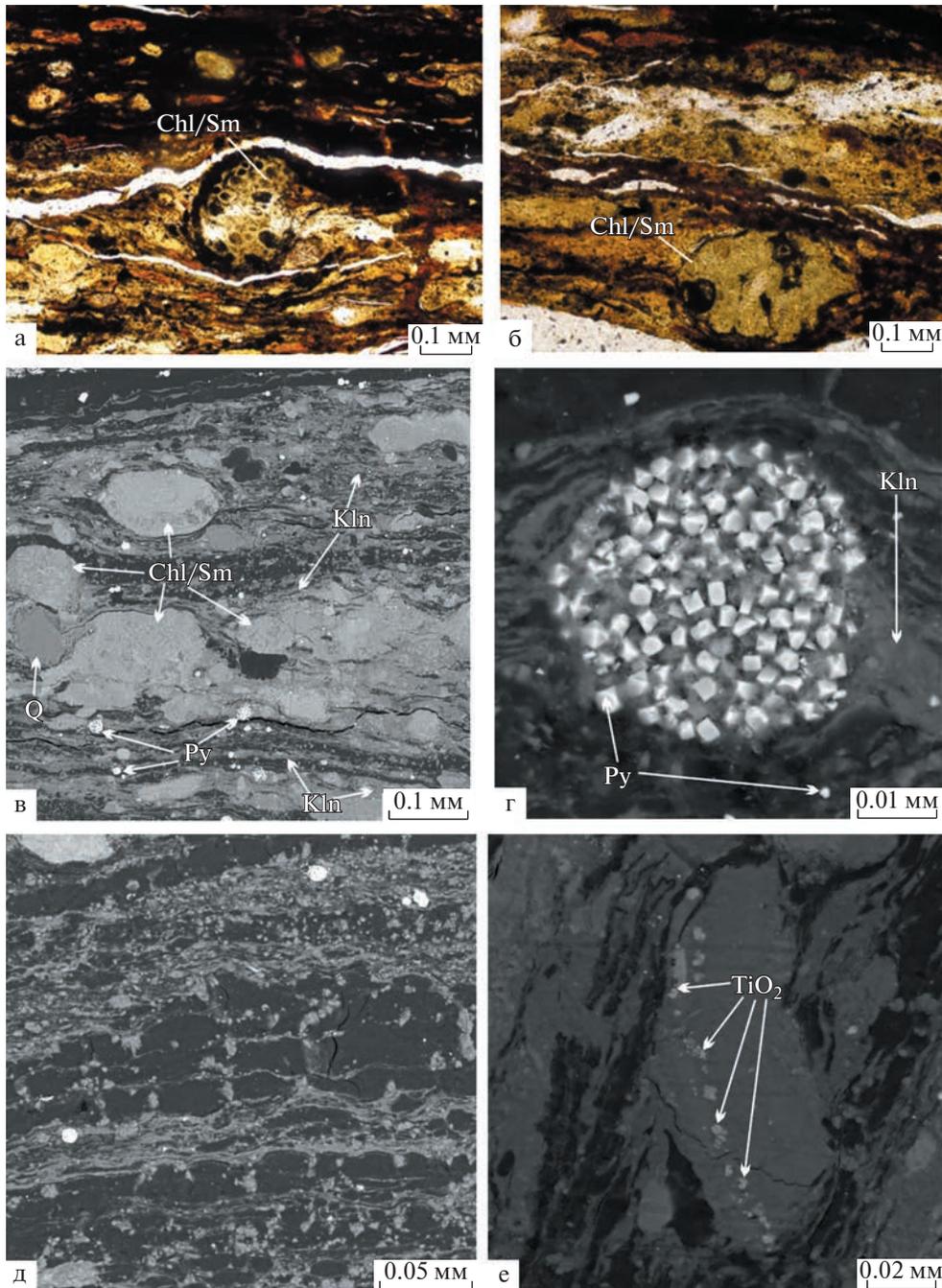
Еще один вид углепроявлений в разрезе представлен блестящим однородным углем, который

по облику и строению схож с гагатом. Под термином “гагат” понимается разновидность черного, блестящего, смолистого угля с раковистым изломом, древесного происхождения, прошедшего процесс своеобразного преобразования в анаэробных условиях [Жемчужников, 1934; Жемчужников, Гинзбург, 1960]. Основная масса проявлений гагата встречается в мезозойских (юрских) и более молодых отложениях, в виду широкого распространения хвойных растений, которые являлись растительной основой для угольного вещества гагатов [Жемчужников, 1934; Jeenagoool et al., 2005; Стукалова и др., 2021]. Находки гагатов в каменноугольных отложениях описаны в работах по Северной Америке [General ..., 2001], но в более древних отложениях не встречаются. Исходным растительным материалом для верхнедевонских углепроявлений такого рода могли послужить археоптерисы, находки которых встречены на территории всего Тимана [Снигиревский, 1997; Орлова и др., 2011].

В изученном блестящем угле присутствуют витринитовые компоненты, включая упорядоченные (ксилениновые) участки, характерные для древесных растений и смолоподобное вещество, пропитывающее всю основную массу и делающее уголь вязким. Благодаря чему можно назвать такой блестящий уголь – “гагатоподобным”.

Смола является вторым важным компонентом гагата. Первые известные находки ископаемых смол датируются ранним карбоном [Bray, Anderson, 2009]. Диагностируемая в изученном угле древесная структура подчеркивается наличием разных веществ – тех, из которых выстроен каркас стенок, и “заполнителя” клеток. Последний не имеет характерных черт резинита (в частности, цвета, объединяющего его с другими липтинитами) и по показателю отражения ближе к витриниту, но его функциональная роль уже формируется. И, кроме того, наблюдается яркая желтая люминесценция в УФ свете, возможно проявляемая смолоподобными веществами. Разная интенсивность люминесцентного свечения липтинитов из одних и тех же проб подтверждает мнение о неодинаковых скоростях преобразования водорослевых, споринитовых, кутинитовых, резинитовых мацералов.

Полученные значения отражательной способности  $RV = 0.45–0.55\%$  и характер люминесценции липтинитовых компонентов однозначно говорят о преобразованности ОВ саргаевских отложений, соответствующей переходу от конца протокатагенеза (градация ПК<sub>3</sub>) к началу мезока-тагенеза (градация МК<sub>1</sub>).



**Рис. 7.** Минеральный состав и строение верхнедевонских углистых пород.

а, б (фотографии шлифов без анализатора) – сферолитовое и радиально-лучистое строение хлоритоподобных минералов (шлиф, обр. 1702/тр4); в–е (изображения СЭМ): в, д – характер распределения основных минералов (обр. 1703/тр), г – фрамбоид пирита (обр. 1703/тр), е – линейное распределение минеральных фаз  $TiO_2$  в чешуйке хлоритоподобного минерала (обр. 1702/тр3).

#### *Минералогический состав углистых пород*

Минеральная часть верхнедевонских углистых пород Северного Тимана представлена преимущественно каолинитом, хлорит/сметитом (хлоритоподобные минералы) и кварцем. По генезису минералы в углях подразделяются на две большие

группы: сингенетичные (терригенные и новообразованные) и эпигенетичные (отложенные по трещинам или пустотам и преобразованные из сингенетичных минералов) [Петрография ..., 1986]. В исследуемых породах характер распределения каолинита исключает его обломочное происхождение. Однако, его нахождение внутри бесструк-

турного органического вещества, позволяет отнести к группе эпигенетических минералов, а каолинит, распространенный в основной массе, вероятно — к сингенетическим. Хлоритоподобные агрегаты по форме являются аллотигенными. Их структурные особенности, а именно глобулярное строение, вероятно, указывают на преобразование вулканокластики. Образование этих минералов можно трактовать двояко. С одной стороны, они могли поступить в бассейн седиментации уже преобразованными, в таком случае они являются сингенетическими (терригенными) минералами; с другой, процесс преобразования мог происходить на постседиментационном этапе — группа эпигенетических минералов. Форма и распределение зерен кварца, однозначно указывают на обломочное происхождение.

На основании выявленных порообразующих компонентов и их количественных соотношений образец 1703/тр определен как алевритисто-глинистый уголь, а образцы 1702/тр3 и 1702/тр4 — как многокомпонентные породы смешанного состава (ОВ  $\approx$ 40%, глинистые минералы  $\approx$ 40% и кварц  $\approx$ 20%). Данные многокомпонентные породы из разреза по р. Сула с уверенностью можно отнести к алевритисто-глинисто-углистым микстолитам (микститам).

#### *Сравнение рассматриваемых углистых пород и углей (р. Сула) с углями других районов мира*

Многокомпонентные угли, обнаруженные в среднедевонской толще на Северном Тимане, были отнесены М.Д. Залесским к сапромикститам. Эйфель-раннеживетские угли-сапромикситы были найдены среди глин и кварцевых песчаников травянской свиты А.А. Черновым еще в 1920-е годы прошлого столетия в долине реки Кумушки-Белой [Чернов, 1947]. Они изучались в препаратах мацерирования. По данным, полученным М.Д. Залесским, угли состоят из скопленных ослизневших бурых водорослей и участками талломов с клеточным строением, а также спорами плауновидных растений [Первухина, 1940]. М.Д. Залесский считал, что эти угли, представляют собой залежи валов девонских водорослей, выброшенных на берег, с присоединением к ним остатков наземной флоры, принесенной водой и ветром [Чернов, 1947]. Данные угли также были изучены В.П. Бархатовой и А.Е. Первухиной в обнажениях рек Кумушки-Белой и Большой Светлой [Первухина, 1940]. А.Е. Первухиной было проведено сравнение средне- и верхнедевонских углей Северного Тимана (по разным рекам) и Медвежьего острова в Баренцевом море [Первухина, 1940], которая отнесла их к разным типам.

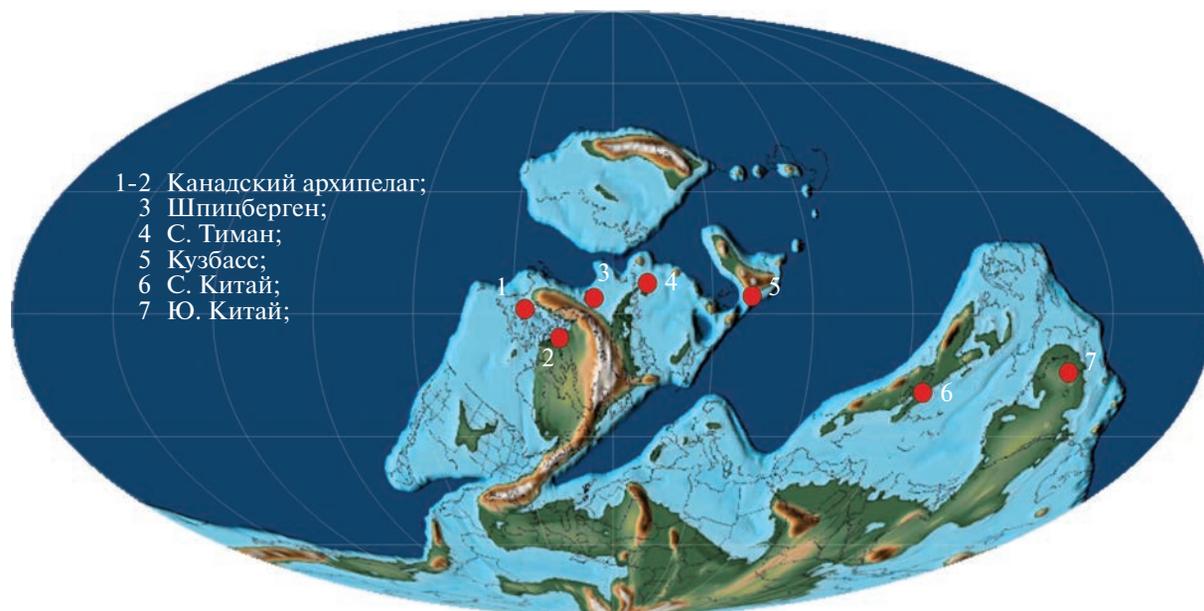
Средне-верхнедевонские угли Канадского архипелага представляют собой кеннельевые угли и состоят преимущественно из споринита, битуминита и витринита [Fowler et al., 1991; Goodarzi, Goodbody, 1990]. Кеннельевые угли формируются в анаэробных условиях. Они состоят преимущественно из остатков спор, принесенных ветром в водоемы [Moore, 1968]. L.R. Moore утверждает, что большая часть битуминитовых и липтодетринитовых компонентов кеннельевых углей образовалась из планктонного вещества, богатого жирами и белками [Moore, 1968]. Средне-верхнедевонские угли в канадской Арктике отлагались в пресной или слегка солоноватой воде в нижней части дельтовой равнины [Goodarzi, Goodbody, 1990].

Среднедевонские угли Китая представляют собой кутинитовые и реже споровые липтобиолиты, к таким же углям можно отнести барзасситы в Кузнецком бассейне [Han, 1989; Cheng, Han, 1995; Dai et al., 2006; Song et al., 2021]. Липтобиолиты северо-западного Китая сформировались в пойменных условиях речной системы, а юго-западного — в прибрежно-морских обстановках [Han, 1989; Dai et al., 2006; Song et al., 2021].

Изученные углистые породы из разреза на р. Сула отличаются от всех упомянутых выше средне-верхнедевонских углей большим содержанием липтинитовых компонентов и их разнообразным составом. Наличие бесструктурного ОВ и тонкой горизонтальной слоистости в углях и углистых породах (микстолитах) свидетельствуют о высокой степени разложения исходного органического материала и его захоронении в застойной среде.

Если учитывать, что залегающие на территории Северного Тимана среднедевонские угли сапромикситы обогащены водорослевыми компонентами и спорами, то исследованные породы уже имеют витринитовое вещество с наличием клеточных структур телинита и обилием остатков спор. Появление ксиленовых структур среди витринитовых компонентов углей является признаком появления древесины у растений [Kennedy et al., 2013].

Сравнение минеральной компоненты верхнедевонских углистых пород Северного Тимана с рассмотренными выше (Канады, Китая) затруднительно, в связи с малым количеством опубликованной подобной информации. Можно отметить, что в целом “Тиманские” угли близки по химическому составу с “Ликуаньскими” углями Китая [Dai et al., 2006]. В последних, также как и в большинстве углистых пород разного возраста, наиболее распространенными минеральными ком-



**Рис. 8.** Палеогеографическая карта мира 380 млн лет. Точками отмечены средне-верхнедевонские углепроявления и месторождения, основа карты – по [Scotese, 2016].

понентами являются кварц и глинистые минералы. Однако, состав глинистой фракции “Ликуаньских” углей детально не рассматривается.

Все рассматриваемые углепроявления, как показано на карте, палеогеографически располагались в низких широтах, ограничиваясь субэкваториальной зоной (рис. 8). Характерно, что на эту закономерность впервые обратили внимание еще А.А. Чернов [1947] и П.И. Степанов [1937], отметив, что основные крупные девонские угольные месторождения расположены на одной дуговой линии (в современном плане), образуя пояс девонского углеобразования. Этот пояс связывает отдельные угольные месторождения и проявления, которые в современном плане прослеживаются от Канадского архипелага через о. Медвежий, Северный Тиман, до Кузбасса и далее – до Китая. По всей видимости, он маркирует область развития древнейших лесных сообществ, являвшихся основным поставщиком исходного растительного материала. Однако внутри этой области условия седиментации, в которых происходило накопление и захоронение органического вещества не были постоянными и варьировали от мелководно-морских до озерных и дельтовых [Цыганко, 2006; Безносов и др., 2018]. Различия в условиях осадконакопления оказывали влияние на состав исходного растительного материала, что обусловило отличия микрокомпонентного состава углистых пород этого возраста.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изученные верхнедевонские углепроявления на Северном Тимане (разрез на р. Сула) ранне-саргаевского возраста являются вещественным отражением первых растительных сообществ и представлены несколькими типами пород. Первый тип встречен в разрезе в виде отдельных прослоев и представлен полосчатым высокозольным алевритисто-глинистым углем. Второй тип также в разрезе слагает прослой мощностью 0.2 м и согласно вещественному составу отнесен к алевритисто-глинисто-углистым микстолитам. Третий тип встречен исключительно в виде гнезд и линз во вмещающих песчаниках и интерпретируется, как “гагатоподобный” уголь.

Мацеральный состав органического вещества изученных пород является многокомпонентным (витринит, липтинит, инертинит) и соответствует гумусовому типу углей. Витринитовые и липтинитовые компоненты встречены примерно в равных соотношениях, инертинитовые – имеют подчиненное значение. Витринитовые мацералы представлены гелинитом, коллотелинитом и теллинитом (ксиленитом), липтинитовые – споринитом, кутинитом, липтодетринитом, битуминитом, альгинитом и смолоподобным веществом, а инертинитовые – инертодетринитом, семифюзинитом, фюзинитом и фунгинитом. Наличие структур ксиленита в группе витринитовых микрокомпонентов углей свидетельствует о формировании древесины у растений углеобразователей.

Присутствие в основной бесструктурной витринитовой массе упорядоченных (ксиленитовых) структур, заполненных смолоподобным веществом, позволяют назвать блестящую разновидность угля “гагатоподобным”. Благодаря многокомпонентному составу ОВ и повышенному содержанию липтинитовых мацералов, уголь и микстолиды отнесены к липтобиолитам. В отличие от других регионов мира исследованные липтобиолитовые угли р. Сулы отличаются повышенным содержанием липтинитовых компонентов и их разнообразным составом.

По данным отражательной способности витринита  $RV = 0.45-0.55\%$  и характеру люминесценции липтинитовых компонентов преобразованность ОВ саргаевских отложений верхнего девона на Северном Тимане, соответствует переходу от конца протокатагенеза (градация ПК<sub>3</sub>) к началу мезокатагенеза (градация МК<sub>1</sub>).

Формирование рассматриваемых углей и углистых пород вероятно связано с сезонным привносом форменных липтинитовых компонентов совместно с обломочным материалом в периодически обводненную застойную (предположительно озерную) обстановку, приуроченную к прибрежно-морским равнинам.

Проведенные исследования позволили получить новые данные о петрографическом и минералогическом составе верхнедевонских углей и углистых пород Северного Тимана (р. Сула), являющихся примером наиболее древних углепроявлений мира и дополняющих общую территориальную закономерность распределения узлов девонского углеобразования.

#### БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают признательность кандидату геол.-мин. наук С.М. Снигиревскому (СПбГУ, г. Санкт-Петербург) за проведенные полевые исследования и обсуждение результатов, а также кандидату геол.-мин. наук В.П. Лютоеву (ФИЦ ИГ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар) за проведение исследований (ЭПР) и консультации. За ценные советы и рекомендации авторы особенно благодарны кандидату геол.-мин. наук В.А. Салдину (ФИЦ ИГ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар). Авторы выражают свою признательность рецензенту за проявленное внимание и конструктивные замечания, способствующие значительному улучшению и дополнению статьи.

#### ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследования выполнены в рамках Государственного задания ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН по темам НИР № НИОКТР 122040600010-8, 122040600013-9 и

122040600008-5, а также программы Казанского (Приволжского) федерального университета “Приоритет 2030”.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Атлас верхнепалеозойских углей Кузнецкого бассейна / Ред. И.Н. Звонарев. Новосибирск: Наука, 1966. 368 с.
- Безносков П.А., Снигиревский С.М., Наугольных С.В., Лукиевич Э.В.* Верхнедевонский комплекс отложений дельтовой равнины на Северном Тимане // Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН. 2018. № 1(277). С. 25–44. <https://doi.org/10.19110/2221-1381-2018-1-25-44>
- Волкова И.Б.* Органическая петрология. Л.: Недра, 1990. 299 с.
- Геологическая карта: Q–39 (Нарьян-Мар). Государственная геологическая карта Российской Федерации. Третье поколение. Мезенская серия. Геологическая карта дочетвертичных образований, масштаб 1 : 1 000 000, серия: Мезенская. Лист 3 / Составлена: ФГБУ “ВСЕГЕИ” / Ред. К.Э. Якобсон. СПб., 2014.
- Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 200 000, серия Тиманская, листы Q–39–VII, VIII. Объяснительная записка / Составители: А.А. Черепанов, Н.А. Ерюхина, Т.Ю. Затульская. М.: МФ ВСЕГЕИ, 2013. 114 с.
- ГОСТ Р 55659–2013 (ISO 7404–5:2009). Методы петрографического анализа углей. Часть 5. Метод определения показателя отражения витринита с помощью микроскопа. 20 с.
- Жемчужников Ю.А.* Материалы к познанию природы гагата // Химия твердого топлива, 1934. № 5. С. 404–413.
- Жемчужников Ю.А., Гинзбург А.И.* Основы петрологии углей. М.: Изд-во АН СССР, 1960. 400 с.
- Зональная стратиграфия фанерозоя России / Научный редактор Т.Н. Корень. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2006. 256 с.
- Иванова В.Л., Баринов Н.Н., Карабцов А.А., Афанасьева Т.Б.* Серосодержащие биоминералы в зонах прибрежно-морского осадконакопления // Минералогия и жизнь: происхождение биосферы и коэволюция минерального и биологического миров, биоминералогия // Материалы IV международного семинара. Сыктывкар: Геопринт, 2007. С. 96.
- Матвеев А.К.* Угольные бассейны и месторождения зарубежных стран. М.: Изд-во МГУ, 1979. 311 с.
- Мейен С.В.* Введение в теорию стратиграфии. М.: Наука, 1989. 216 с.
- Оловянишников В.Г.* Атлас геологических и геодинамических карт Канино-Тиманского кряжа и фундамента Печорской плиты. Сыктывкар: Геопринт, 2007. 22 л.
- Оловянишников В.Г.* Геологическое развитие Северного Тимана и п-ова Канин. Сыктывкар: Геопринт, 2004. 80 с.

- Орлова О.А., Юрина А.Л., Горденко Н.В. О первой находке древесины Археоптерисовых в верхнедевонских отложениях Среднего Тимана // Вестник МГУ. Серия Геология. 2011. № 5. С. 42–47.
- Первухина А.Е. Девонские угли Северного Тимана // Советская геология. 1940. Вып. № 8. С. 73–76.
- Петрография углей СССР. Вещественно-петрографический состав угольных пластов и качество углей основных бассейнов СССР. Л.: Недра, 1986. 248 с.
- Прищепина О.М., Богацкий В.И., Макаревич В.Н., Чумакова О.В., Никонов Н.И., Куранов А.В., Богданов М.М. Новые представления о тектоническом и нефтегазогеологическом районировании Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2011. Т. 6(4). С. 1–34. [http://www.ngtp.ru/rub/4/40\\_2011.pdf](http://www.ngtp.ru/rub/4/40_2011.pdf)
- Снигиревский С.М. Позднедевонская флора Северного Тимана / Автореф. дис. ... кандидата геол.-мин. наук. СПб., 1997. 16 с.
- Снигиревский С.М., Кочева Л.С., Безносков П.А., Павлова М.А. Северный Тиман как один из древнейших угленосных районов Земли // Природное геологическое наследие Европейского Севера России // Материалы всероссийской научной конференции. Сыктывкар, 2017. С. 77–80.
- Снигиревский С.М., Безносков П.А., Глинский В.Н., Любарова А.П., Зубрицкий А.С. Новые данные о возрасте девонских отложений в среднем течении р. Пёша (Северный Тиман) // Палеонтология и стратиграфия: Современное состояние и пути развития // Материалы LXVIII сессии Палеонтологического общества, посвященной 100-летию со дня рождения Александра Ивановича Жамойды. СПб., 2022. С. 160–162.
- Степанов П.И. Геология месторождений ископаемых углей и горючих сланцев // Геология месторождений нефти, газов и асфальта / Ред. П.И. Степанов, С.И. Миронов. Л.: ОНТИ, 1937. С. 25–37.
- Стукалова И.Е., Садчикова Т.А., Чепалыга А.Л., Наугольных С.В., Латышева И.В. Угли (гагаты) в отложениях плейстоценовых черноморских террас юго-восточного Крыма // Литология и полез. ископаемые. 2021. № 6. С. 553–564. <https://doi.org/10.31857/S0024497X21060070>
- Тимонин Н.И. Печорская плита: история геологического развития в фанерозое. Екатеринбург: УрО РАН, 1998. 240 с.
- Цыганко В.С. Девон Тиманской гряды: основные черты строения и ресурсный потенциал / Проблемы геологии и минералогии / Отв. ред. А.М. Пыстин. Сыктывкар: Геопринт, 2006. С. 365–384.
- Чернов А.А. Геологические исследования Северного Тимана // Материалы к познанию геологического строения СССР // Нов. сер. МОИП. 1947. Вып. 6(10). С. 96.
- Bray P.S., Anderson K.B. Identification of Carboniferous (320 million years old) class Ic amber // Science. 2009. V. 326(5949). P. 132–134. <https://doi.org/10.1126/science.1177539>
- Cheng D.S., Han D.X. Petrography of the Devonian coals from China // Coal Geol Coal Explor. 1995. V. 21(1). P. 25–28 [in Chinese with English abstract].
- Dai S., Han D.X., Chou C.L. Petrography and geochemistry of the Middle Devonian coal from Luquan, Yunnan Province, China // Fuel. 2006. V. 85(4). P. 456–464. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2005.08.017>
- Esin D., Ginter M., Ivanov A., Lebedev O., Luksevics E., Avkhimovich V., Golubtsov V., Petukhova L. Vertebrate correlation of the Upper Devonian and Lower Carboniferous on the East European Platform // Cour. Forsch.-Inst. Senckenberg. 2000. V. 223. P. 341–359.
- Fowler M.G., Goodarzi F., Gentzis T., Brooks P.W. Hydrocarbon potential of Middle and Upper Devonian coals from Melville Island, Arctic Canada // Org. Geochem. 1991. V. 17(6). P. 681–694.
- General Geological Information for the Tri-States of Kentucky, Virginia and Tennessee. Southeastern Geological Society (SEGS) Field Trip to Pound Gap Road Cut U.S. Highway 23, Letcher County, Kentucky, 2001, Guidebook Number 41. P. 1–41.
- Goodarzi F., Goodbody Q. Nature and depositional environment of Devonian coals from western Melville Island, Arctic Canada // Int. J. Coal. Geol. 1990. V. 14. P. 175–96.
- Han D.X. The features of the Devonian coal-bearing deposits in South China, the People's Republic of China // Int. J. Coal. Geol. 1989. V. 12. P. 209–223.
- ISO 7404-5: Methods for the petrographic analysis of coals. Part 5: Methods of determining microscopically the reflectance of vitrinite // International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland. 2009. 22 p.
- Jeenagool A., Kongphetsak W., Poolasap N. Coal in North-east Thailand // International Conference on Geology, Geotechnology and Mineral Resources of Indochina – GEOINDO. Khon Kaen, Thailand. 2005. P. 47–53.
- Kennedy K.L., Gibling M.R., Eble C.F., Gastaldo R.A., Gensel P.G., Werner-Zwanziger U., Wilson R.A. Lower Devonian coaly shales of northern New Brunswick, Canada: plant accumulations in the early stages of terrestrial colonization // J. Sediment. Res. 2013. V. 83. P. 1202–1121. <https://doi.org/10.2110/jsr.2013.86>
- Moore L.R. Cannel coals, bogheads and oil shales / Eds D. Murchison, T.S. Westoll // Coal and Coal bearing Strata. Ohver and Boyd. Edinburgh. 1968. P. 19–24.
- Scotese C.R. PALEOMAP. Paleomap for G Plates and the Paleo Data Plotter program // Geological Society of America Abstracts with Programs. 2016. V. 48(5). <https://doi.org/10.1130/abs/2016NC-275387>
- Song D., Wang T., Zhong N., Chen Y., He D., Li D. Discovery of cutinitic liptoblioth in northwestern China and a comparative study with Luquan Devonian coal // Science China Earth Sciences. 2021. V. 64(4). P. 642–650. <https://doi.org/10.1007/s11430-020-9688-1>
- Volkova I.B. Nature and composition of the Devonian coals of Russia // Energy & Fuels. 1994. V. 8(6). P. 1489–1493.

## Composition Peculiarities of the Upper Devonian Coaly Rocks (The Sula River Section, North Timan)

O. S. Kotik<sup>1, \*</sup>, N. V. Pronina<sup>2, \*\*</sup>, N. S. Inkina<sup>1, \*\*\*</sup>, P. A. Beznosov<sup>1, 3, \*\*\*\*</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Geology FRC Komi SC UB RAS, Pervomaiskaya str., 54, Syktyvkar, 167982 Komi Republic, Russia*

<sup>2</sup>*Faculty of Geology Lomonosov Moscow State University, Leninskie Gory, 1, Moscow, 119234 Russia*

<sup>3</sup>*Kazan Federal University, Kremlevskaya str., 18, Kazan, Republic of Tatarstan, 420008 Russia*

\**e-mail: olya.procko@gmail.com*

\*\**e-mail: nvproncl@mail.ru*

\*\*\**e-mail: nsinkina@geo.komisc.ru*

\*\*\*\**e-mail: beznosov@geo.komisc.ru*

A detailed coal-petrographic and mineralogical-geochemical study of humic coals and coaly rocks in the Sargaev deposits of the Upper Devonian of the Northern Timan (Sula River), which is an example of the burial of the most ancient coal-forming plants, has been carried out. The following types of organic rocks are identified in the section: “jet-like” coal, liptobio-litic silty-clayey coal, and silty-clayey-coaly mixtolites. The studied coals and coaly rocks are composed of humic organic components, represented by vitrinite and liptinite macerals, the inertinite group is of subordinate importance. Vitrinite macerals include gelinite, collotelinite, and telinite (xylenite), liptinite macerals include sporinite, cutinite, liptodetrinite, bituminite, alginite, and a resinous substance, and inertinite macerals include inertodetrinite, semifusinite, fusinite, and funginite. The level of organic matter maturity according to the vitrinite reflectance  $RV = 0.45-0.55\%$ , corresponds to the transition from proto- to meso-catagenesis (gradations PC<sub>3</sub>-MC<sub>1</sub>). The mineral component of mixtolites and high-ash coals consists of kaolinite, chlorite/smectite (with a predominance of the chlorite component) and quartz.

*Keywords:* Upper Devonian, coal, coaly rocks, maceral and mineral composition, vitrinite reflectance.