

УДК 553.98: 551.762(470.13)
DOI 10.19110/1994-5655-2020-6-96-107

О.С. КОТИК, В.А. САЛДИН, О.В. ВАЛЯЕВА

**ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО
ВЕРХНЕЮРСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ
ИЖЕМСКОГО СЛАНЦЕНОСНОГО РАЙОНА
ТИМАНО-ПЕЧОРСКОГО БАССЕЙНА**

*Институт геологии
им. академика Н.П. Юшкина
ФИЦ Коми НЦ УрО РАН,
г. Сыктывкар*

procko@geo.komisc.ru

O.S. KOTIK, V.A. SALDIN, O.V. VALYAeva

**ORGANIC MATTER OF THE UPPER JURASSIC
DEPOSITS OF THE IZHMA SHALE-BEARING
REGION OF THE TIMAN-PECHORA BASIN**

*N.P. Yushkin Institute of Geology, Federal
Research Centre Komi Science Centre,
Ural Branch, RAS,
Syktyvkar*

Аннотация

В статье приводятся результаты комплексных геохимических и углепетрографических исследований органического вещества верхнеюрских отложений Ижемского сланценосного района Тимано-Печорского бассейна. В горючих сланцах и глинах волжского яруса выявлено преобладание незрелого смешанного сапропелево-гумусового состава (II, II–III типов) с высоким начальным углеводородным потенциалом.

Ключевые слова:

юрские отложения, горючие сланцы, органическое вещество, тип керогена, углеводородный потенциал, битумоиды

Abstract

The results of complex geochemical and coal-petrographic studies of the organic matter of clays and oil shales of the middle substage of the Volgian (Tithonian) stage in the Izhma shale-bearing region of the Timan-Pechora basin are presented. The studied section of the Volgian deposits on the Aiyuva river is represented by alternating layers of oil shales, clays and single interlayers of clayey limestones. The deposits under consideration are characterized by an uneven distribution of organic matter across the section. The minimum content of organic carbon (C_{org}) is found in clayey limestone (less than 1%) and clays (2.2%), while the maximum content is found in oil shale (34%). Oil shales and clays contain immature mixed marine and terrigenous organic matter (types II and II-III kerogens), which has a high hydrocarbon potential ($T_{max} - 407-410^{\circ}C$, HI – 519-600 mg of HC/g TOC). Organic matter is mainly represented by bituminite, there are inclusions of sporinite, alginite, vitrinite and inertinite. The distribution of *n*-alkanes and isoprenoids in the saturated fraction of bitumen also indicates the predominance of marine organic matter with a small contribution of the terrigenous component. The Volgian deposits with a high initial oil generation potential were formed in relatively shallow marine conditions with low hydrodynamics.

Keywords:

Jurassic deposits, oil shales, organic matter, kerogen type, hydrocarbon potential, bitumen

В пределах Тимано-Печорского бассейна волжские отложения позднеюрского возраста включают большое количество пластов горючих сланцев. На данной территории выделяются три сланценосных района – Сысольский, Яренгский и Ижемский, характеризующиеся различной степенью изученности по строению и вещественному составу отложений, включая и геохимические особенности горючих сланцев [1, 2]. Наименее исследованными

остаются строение разрезов и условия осадконакопления горючих сланцев Ижемского района. Нами представлены материалы по органической геохимии верхнеюрских отложений Айювинского месторождения данного района.

Сланценозные отложения Айювинского месторождения (рис. 1.) изучались Н. Н. Гавриловым, И. Г. Добрыниным, П. М. Клевенским, Б. К. Лихаревым и многими другими. Материалы по Ижемскому сланценосному району представлены А. М. Павловым в обобщающей коллективной монографии по горючим сланцам Северо-Востока европейской части России [1]. На этой территории был установлен,

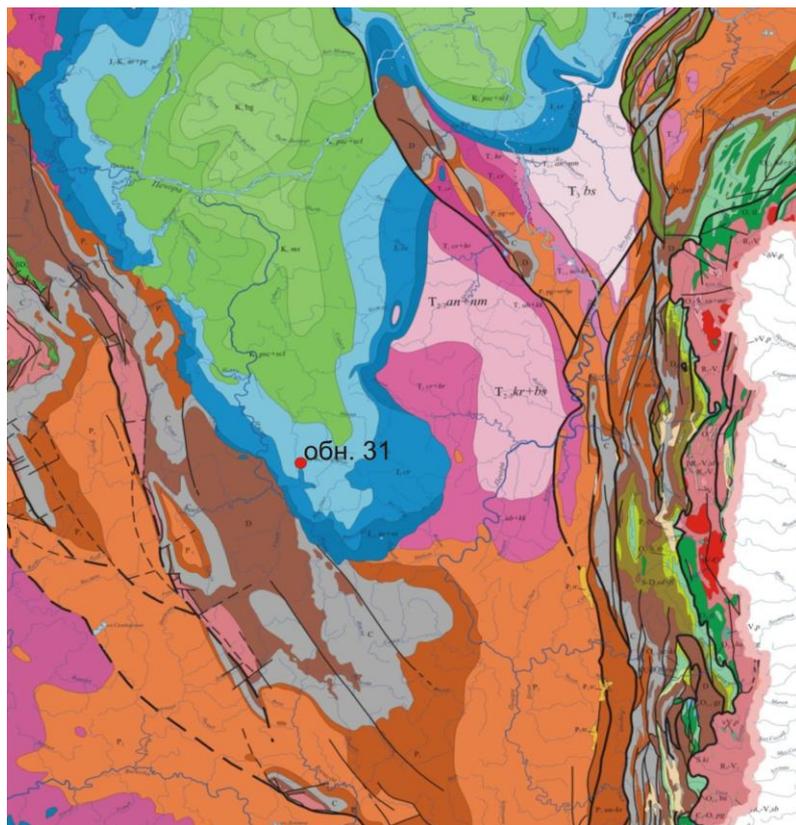


Рис. 1. Геологическая карта района исследований (по [3]).
Fig. 1. Geological map of the study area (according to [3]).

также как и в других районах, средневожский (среднетитонский) возраст горючих сланцев, среди них выделены четыре промышленных пласта (в отличие от трех пластов в разрезах Притиманья), определены их качественная и количественная характеристики и подсчитаны запасы. Основываясь на составе пород и органических остатков, характере строения разрезов верхнеюрских отложений Притиманья, С. В. Лыуровым предложена версия об образовании горючих сланцев в относительно неглубоководных водоемах [2]. В последние десятилетия верхнеюрские отложения Айювинского месторождения на р. Айюва дополнительно охарактеризованы органическими остатками [4]. Вопросы геохимии органического вещества (ОВ) горючих сланцев, химического состава керогена и особенностей его преобразования в искусственных условиях рассматривались в работах Д. А. Бушнева с соавторами [5, 6].

Органическое вещество волжских отложений на данной территории является малопреобразованным, что позволяет провести оценку начального генерационного потенциала нефтематеринских толщ. Особенности состава, содержание и тип ОВ позволяют охарактеризовать нефтегазоматеринские свойства верхнеюрских отложений, которые в пределах более северных районов Баренцевоморского шельфа являлись генераторами углеводородов [7–9]. Достаточно большой объем геохимических исследований, проводимый на территории Баренцевоморского региона, свидетельствует о среднем и высоком начальном углеводородном потенциале и возможности верхнеюрских отложений генерировать жидкие углеводороды в наиболее погруженных частях Южно-Баренцевской впадины [7].

Комплексные исследования малопреобразованного ОВ верхнеюрских пород способствуют выявлению особенностей захоронения и изменения свойств исходного ОВ, что важно для установления эволюционных изменений ОВ при последующей катагенетической трансформации. Кроме того, эти изучения позволяют оценить генерационные свойства ОВ потенциально нефтегазоматеринских толщ Тимано-Печорского бассейна.

В рамках данного исследования были проведены детальные литологические исследования, углепетрографическое и пиролитическое изучение типа ОВ и его генерационного потенциала. Также были проанализированы и обобщены все имеющиеся материалы по данному разрезу волжских отложений.

Объект исследований

Каменный материал для исследований ОВ отобран из трех разрезов, включая самый представительный на р. Айюва (правый приток р. Ижма). Строение верхнеюрских отложений Айювинского месторождения дается по наиболее последовательному разрезу в обн. № 31 (нумерация по П. М. Клевенскому), который находится на левом берегу р. Айюва приблизительно в 3.5 км от д. Керки ниже по течению. Высота берега здесь достигает 15 м. Коренные выходы прослеживаются на расстоянии первых сотен метров. Выходы выступают небольшими фрагментами на крутом склоне от уреза воды до бровки. Слои залегают почти горизонтально. Юрские отложения расчленены нами на 11 пачек (рис. 2). Далее приводится описание снизу вверх по разрезу:

Пачка 1. Смешанная известково-глауконитово-глинисто-песчаная порода зеленовато-серого цвета с линзами пирита и включениями редкого гравия и мелких галек. Встречены остатки двустворок, аммонитов и белемнитов. Наблюдаются псевдоморфозы пи-

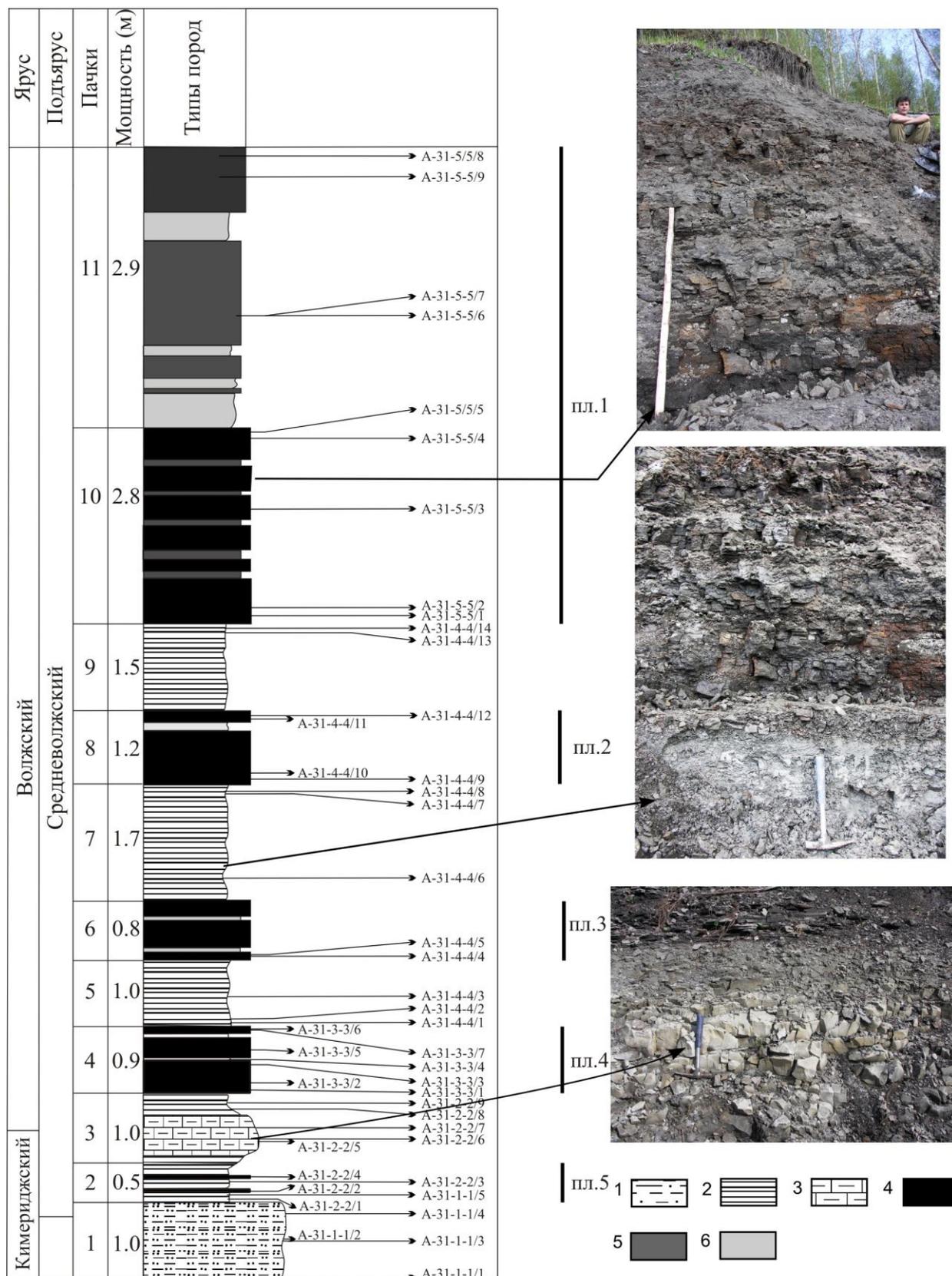


Рис. 2. Литолого-стратиграфическая колонка верхнеюрских отложений в обн. 31 на р. Айюва. (1 – кварц-глюконитовые пески; 2 – голубовато-серые известковые глины; 3 – известняки глинистые (мергели); 4 – горючие сланцы; 5 – углеродистые глины и глинистые горючие сланцы; 6 – темно-серые глины).
 Fig. 2. Lithological-stratigraphic column of the Upper Jurassic deposits in outcrop № 31 on the Aiyuva River. (1 – quartz-glaucanite sands; 2 – bluish-gray calcareous clays; 3 – clayey limestones (marls); 4 – oil shale; 5 – carbonaceous clays and argillaceous oil shales; 6 – dark gray clays).

рита по головоногим моллюскам. В подошве пачки определены раннекимериджские (?) фораминиферы: *Astacolus aff. suprajurassicus* (Mjatl.), *A. sp.*, *Lenticulina aff. nodulosa* Jak., *L. sp.*, *Citharina aff. lepida* (Schwag.), *Marginulina cf. robusta* Reuss, *Guttulina* (?) *sp.*, а в кровле встречены фораминиферы средневожского подъяруса: *Lenticulina infravolgaensis* (Furss. et Pol.), *L. aff. kaschpurica* (Mjatl.), *L. media* (Furss. et Pol.), *L. sp.*, *Saracenaria pravoslavlevi* Furss. et Pol., *S. ex.gr. alta* K.Kuzn., *Planularia poljenovae* K.Kuzn., *Astacolus obliteratus* (Furss.), *Marginulina robusta* Reuss, *Vaginulinopsis embaensis* (Furss. et Pol.), *Citharina raricostata* (Furss. et Pol.), *Dentalina sp.* [4]. Можно предположить на этом интервале или присутствие стратиграфического перерыва, или переотложение фораминифер кимериджского возраста. В настоящее время вопрос остается не решенным –1.0 м.

Пачка 2. Переслаивание серых известковых глин (0.07–0.50 м) с маломощными (0.05 м) горючими сланцами. Наблюдается резкая граница между глиной серого цвета и залегающим сверху черным глинистым горючим сланцем, а переходы снизу вверх по разрезу от горючего сланца к серой глине происходят постепенно. Во всех слоях встречены остатки двустворок, обломки ростров белемнитов и единичные включения аммонитов –0.5 м.

Пачка 3. Глинистый известняк зеленовато-светло-серого цвета (0.6 м) с остатками белемнитов, со следами илоедов и многочисленными конкрециями дисульфидов железа подстилается и перекрывается маломощными (0.1–0.3 м) прослоями известковых глин с остатками двустворок и белемнитов –1.0 м.

Пачка 4. Переслаивание горючих сланцев (0.27–0.45 м) и серых глин (0.03 м). Горючий сланец коричневого цвета с тонкой горизонтальной слоистостью с остатками двустворок и их отпечатков. В середине пачки имеется слой горючего сланца (0.27 м) с текстурами оседания глины (или текстуры биотурбации?) – 0.9 м.

Пачка 5. Глина серого до темно-серого цвета с многочисленными остатками белемнитов и двустворок –1.0 м.

Пачка 6. Переслаивание горючих сланцев (0.08–0.35 м) и темно-серых глин (0.05 м). Горючий сланец с отпечатками мелких (первые сантиметры) аммонитов и двустворок. Последние встречаются в виде отдельных створок, некоторые из них достигают 10 см – 0.8 м.

Пачка 7. Глина светло-серого цвета с многочисленными остатками двустворок, а в верхней части интервала встречаются ростры белемнитов –1.7 м.

Пачка 8. Переслаивание горючих сланцев (0.2–0.85 м) с остатками двустворок и глин (0.15 м) темно-серых с голубоватым оттенком –1.2 м.

Пачка 9. Глина серого цвета –1.5 м.

Пачка 10. Переслаивание горючих сланцев, углеродистых и темно-серых глин. Горючий сланец глинистый с обилием остатков аммонитов и двустворок, образующих светло-серые слойки до 1.5 мм толщиной (0.2–1.15 м). Глина темно-серая иногда почти черная (керогеновая) с повышенным со-

держанием органического вещества, нередко с остатками двустворок (0.05–0.2 м) –2.8 м.

Пачка 11. Переслаивание черных высокоуглеродистых (керогеновых) и темно-серых глин с глинистыми горючими сланцами. Глины темно-серые (0.15–0.45 м) с разрозненными обломками двустворок. В нижней части пачки встречаются единичные раковины гастропод (1 см). В черных глинах (керогеновых) с высоким содержанием ОВ наблюдаются остатки двустворок, ориентированных по напластованию. Отмечаются неотчетливые постепенные переходы темных глин в вышелегающие серые глины. В глинистых горючих сланцах (до 3 м) видны отпечатки аммонитов и двустворок. Выходы этой пачки наблюдаются у самой бровки склона –2.9 м.

По комплексам фораминифер, миоспор и диноцист отложения верхних 10 пачек отнесены к среднему подъярису вожского (титонского) яруса [4]. Наши пачка 4 соответствует промышленному пласту IV, пачка 6 – пласту III, пачка 8 – пласту II, а пачки 10 и 11 – пласту I.

Методы исследования

Углететрографические компоненты сланцев и глин исследовались в аншлифах-брикетах и тонких шлифах. Изучение шлифов проводилось в проходящем свете при увеличении $\times 10$ –50 раз на микроскопе MeF-2, а аншлифов-брикетов в отраженном свете при увеличении $\times 20$ –50 раз на микроскопе Nikon Eclipse E400Pol. Дополнительно проводилось исследование в ультрафиолетовом свете шлифов и аншлифов при увеличении $\times 20$ –50 раз на микроскопе ЛОМО Люмам. Препараты керогена и мацерации исследовались при увеличении $\times 20$ –100 раз на биологическом микроскопе OptiTech. Также проводилось исследование на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) JSM 6400.

Для определения содержания органического углерода ($C_{орг}$) использовался экспресс-анализатор на углерод АН-7529. Выделение хлороформенного битумоида (ХБА) проводилось методом горячей экстракции хлороформом в аппарате Сокслета. Анализ нормальных и изопреноидных алканов насыщенной фракции битумоидов выполнен методом газовой хроматографии на хроматографе Кристалл-2000 М (капиллярная колонка DB-5, 30 м \times 0.32 мм \times 0.25 мкм). Охарактеризованный комплекс методов выполнялся на базе ЦКП «Геонаука» в Институте геологии Коми НЦ УрО РАН (г. Сыктывкар).

Пиролитические исследования методом Rock-Eval проводились во ВНИГНИ (г. Москва). Элементный анализ керогена был проведен в Институте биологии Коми НЦ УрО РАН с использованием элементного анализатора EA 1110 (CHNSO) CE Instruments.

Состав и содержание органического вещества

Проведенные ранее А.И. Гинзбургом петрографические исследования ОВ горючих сланцев Европейского Севера СССР (в т.ч. Айювинского месторождения) [10] показали, что их кероген состоит в основном из бесструктурного сапропелевого вещества – коллоальгинита. Также присутствуют

микрокомпоненты таломоальгинита, липтодетринита, витринита, фузинита и псевдовитринита [10]. Наши комплексные исследования помогут оценить изменение химических свойств исходного вещества в зависимости от его микрокомпонентного состава.

Геохимические исследования пород показали изменение содержания органического углерода в зависимости от литологических типов пород. Наименьшее содержание $C_{орг}$ отмечено в глинистом известняке (менее 1 %) и глинах (2.2–10.4 %), наибольшее – в глинистых и горючих сланцах (5–34 %). В рассматриваемом разрезе волжских отложений р. Айюва по содержанию $C_{орг}$, карбонатной и глинистой составляющей можно выделить несколько литотипов пород: горючие сланцы ($C_{орг}$ – 13.5–33.94 %, НОП – 56.8–64 %), глинистые горючие сланцы ($C_{орг}$ – 5.4–8 %, НОП – 47.5–55.6 %), черно-серые глины (керогеновые) ($C_{орг}$ – 3–10.4 %, НОП – 53.5–57.3 %), серые глины ($C_{орг}$ – 0.4–2.2 %, НОП – 48.39–55.94 %), известняк глинистый ($C_{орг}$ – 0.36–0.9 %, НОП – 28–35.03 %).

Наиболее обогащенные ОВ породы, составляющие более 40 % изученного разреза, вызывают повышенный интерес (таблица, рис. 3). По данным пиролиза Rock-Eval содержание уже сгенерированных ОВ углеводородов (S_1) невысокое и изменяется от 1 до 4.5 мг УВ /г породы, что указывает на крайне низкую катагенетическую преобразованность ОВ пород. Низкая преобразованность ОВ подтверждается данными пиролиза. Параметр S_2 , оценивающий остаточный генерационный потенциал, в зависимости от содержания $C_{орг}$ варьирует от 20 до 140 мг УВ /г породы (единично до 235), T_{max} – 407–410°C, что, в целом, свидетельствует о наличии незрелого ОВ (градация катагенеза ПК). Значения водородного индекса (НІ) находятся в пределах 500–600 мг УВ /г $C_{орг}$ как для горючих сланцев, так и

для высокоуглеродистых глин. Светло-серые глинистые разности характеризуются более низкими значениями НІ, не превышающими 100–120 мг УВ /г $C_{орг}$. В большинстве исследованных образцов ОВ обладает высоким начальным углеводородным потенциалом (рис. 3).

Аналогичные высокие значения НІ – 519–690 мг УВ /г $C_{орг}$ характерны и для горючих сланцев и высокоуглеродистых глин Удорской площади Яренгского сланценосного района (рис. 3). В керогене горючих сланцев зачастую наблюдается небольшое повышение содержания водорода и серы. В целом горючие сланцы данного района часто характеризуются высокой сернистостью и представлены керогеном II и II-S типов [6, 11].

Органическое вещество юрских горючих сланцев формировалось за счет фитопланктона и высших водорослей (max НІ–596 мг УВ/г $C_{орг}$) с различной (но нередко значимой) примесью аллохтонного гумусового материала (min НІ – 40 мг УВ/г $C_{орг}$). Сапропелевая составляющая преимущественно представлена бесструктурным веществом – битуминитом (Lt_{bit}). В породах он распространен в виде линз, включений и небольших скоплений темно-серого цвета в отраженном свете (рис. 4, e-m), иногда комковатого строения. Вокруг включений битуминита видно большое количество битуминозного вещества (Bit), зачастую пропитывающего всю породу. Основная часть сапропелевого вещества, исследованная в препаратах керогена и мацератах, бесструктурная и имеет губчатое и комковатое сложение.

Ранее в препаратах мацератов Л.А. Сельковой диагностированы одноклеточные водоросли (в том числе цисты динофлагеллят), споры папоротников, пыльца хвойных, углистый детрит [4]. Углепетрографическим методом нами были определены различные форменные элементы – включения таломоальгинита, споринита, липтодетринита, небольшие линзы и включения витринита и инертинита (рис. 4). При исследовании на СЭМ были найдены реликты кокколитофоридовых водорослей, имеющих кольцевую форму, диаметром 3-8 мкм (рис. 4, d). В целом, органическое вещество исследованных пород имеет сапропелевый состав с примесью гумусового ОВ (II, II–III типы).

Верхнеюрские (в том числе и волжские) отложения, широко распространенные на шельфе Баренцева моря, согласно опубликованным данным [7–9], имеют, аналогичное рассматриваемым, незрелое ОВ и смешанный сапропелево-гумусовый состав (II, II – III типы). Наиболее высокими содержаниями $C_{орг}$ – 8.3 – 10 %, превосходным генерационным потенциалом (31.67 – 42.13 мг УВ/г породы) и высоким НІ (362 – 404 мг УВ/г $C_{орг}$) характеризуются породы Штокмановской и Ферсмановской площадей (рис. 3). Более низкие значения НІ (83–207 мг УВ/г $C_{орг}$) выявлены в породах с ост-

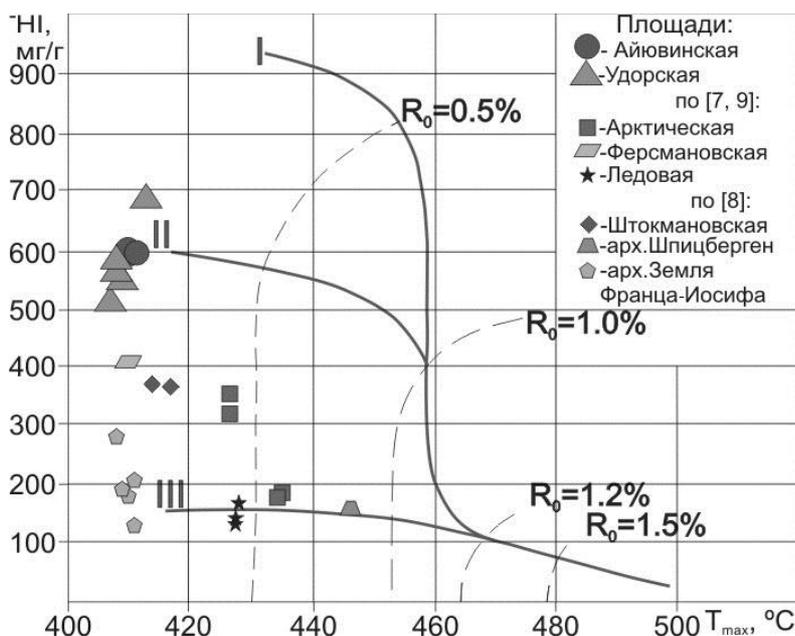


Рис. 3. Типы органического вещества и его катагенетическая преобразованность в верхнеюрских отложениях (с дополнением по [7–9]).
Fig. 3. Types of organic matter and its catagenetic transformation of the Upper Jurassic deposits (with the addition according to [7–9]).

Геолого-геохимическая характеристика волжских отложений, обнажение № 31, р. Айюва
Geological and geochemical characteristics of the Volgian deposits, outcrop № 31, Aiyuva River

Показатели	A-31-3-3/6	A-31-4-4/4	A-31-4-4/11	A-31-2-2/2	A-31-1-1/5	A-31-5-5/9	A-31-4-4/3	A-31-5-5/2	A-31-2-2/4	A-31-2-2/5
Литология	Горючий сланец	Горючий сланец	Горючий сланец	Горючий сланец	Глина	Глинистый горючий сланец	Глинистый горючий сланец	Глинистый горючий сланец	Глинистый горючий сланец	Глинистый известняк
Сорг, %	16,89	16,34	13,6	13,35	10,44	8,3	8,01	6,95	5,44	0,36
ХБ, %	0,141	0,153	0,061	0,130	0,245	0,109	0,083	0,077	0,058	0,007
$\beta_{ХБ}$, %	0,83	0,94	0,45	0,97	2,35	1,31	1,04	1,11	1,07	1,94
Выход УВ, %	16,67	8,06	13,16	7,34	11,11	17,19	3,61	10,94	9,52	7,14
$\frac{C_{17}}{C_{29}}$, %	H-C13-C18	38,35	36,57	81,82	27,12	70,08	33,03	51,89	73,01	95,44
	H-C19-C24	34,74	36,65	38,41	10,91	46,00	30,40	33,26	15,02	3,42
	H-C25-C33	22,86	25,00	25,02	7,27	26,88	13,30	36,57	14,85	1,13
изо/н-алканы	0,42	0,47	0,36	0,18	0,41	0,13	0,33	0,51	0,17	0,07
* $K_{n+1}C_{17}$	1,55	1,67	1,71	0,44	1,74	1,15	1,49	1,58	1,18	1,01
** $K_{n+2}C_{29}$	2,77	2,86	1,88	1,73	0,90	0,95	3,03	3,19	1,48	3,26
***CPI	2,11	2,49	2,19	0,77	1,16	0,89	3,11	2,15	2,03	3,86
Pr/Ph	0,59	0,57	0,65	1,12	0,35	0,75	0,84	0,57	1,07	1,34
Pr/C17	0,90	1,02	0,83	1,28	0,79	0,25	1,06	0,89	0,31	0,12
Ph/C18	2,63	2,91	1,97	1,93	2,63	1,08	2,09	2,76	1,11	0,84
Pr+Ph/C17+C18	1,53	1,74	1,28	1,45	1,64	0,47	1,45	1,56	0,47	0,19

$$^{*}K_{n+1}C_{17} = 2^{n-17} \frac{C_{17}}{C_{29}} / \left(\frac{C_{16}}{C_{18}} + \frac{C_{18}}{C_{16}} \right)$$

$$^{**}K_{n+2}C_{29} = 2^{n-29} \frac{C_{29}}{C_{17}} / \left(\frac{C_{28}}{C_{30}} + \frac{C_{30}}{C_{28}} \right)$$

$$^{***}CPI = S^{1/2} \frac{(C_{25} + C_{27} + C_{29} + C_{31} + C_{33})}{(C_{26} + C_{28} + C_{30} + C_{32} + C_{34}) + (C_{25} + C_{27} + C_{29} + C_{31} + C_{33})} / \left(\frac{C_{24} + C_{26} + C_{28} + C_{30} + C_{32}}{C_{25} + C_{27} + C_{29} + C_{31} + C_{33}} \right)$$

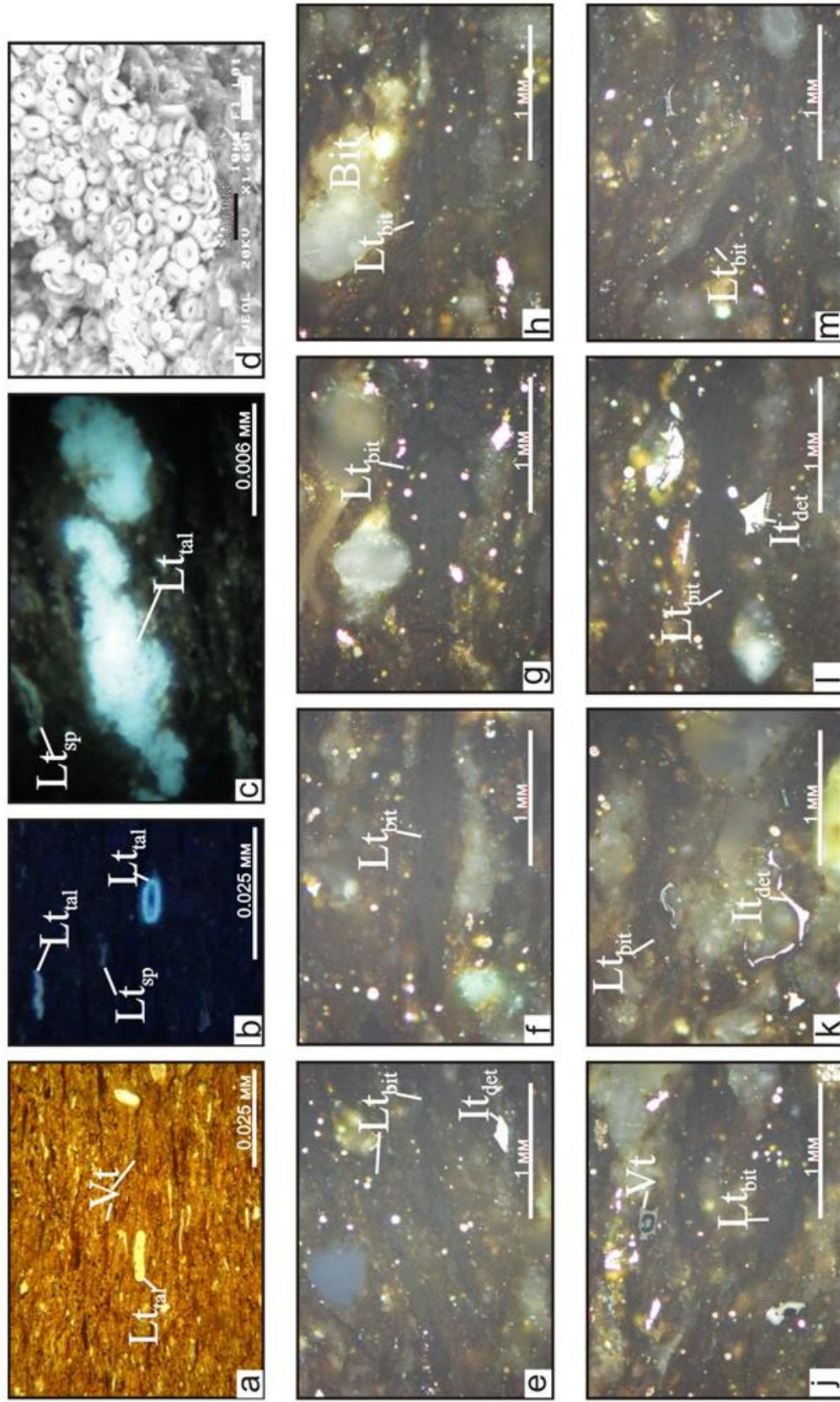


Рис. 4. Органическое вещество волюжских горячих сланцев: а – проходящий свет, ув. 50-150; б, в – проходящий ультрафиолетовый свет, ув. 10-50; д – электрон-
 ный микроскоп, ув. 500; е-м – отраженный свет, масляная иммерсия, ув. 50. Условные обозначения: Vt – витринит, It – инертинит (id – инертотетринит), Lt – (al
 – таломоалгинит, bit – битуминит), Bit – битуминозное вещество.
 Fig. 4. Organic matter of the Volgian oil shales; а – transmitted light, magnification x 50-150; б, в – transmitted ultraviolet light, magnification x 10-50; д – electron
 microscope, magnification x 500; е-м – reflected light, oil immersion, magnification x 50. Legend: Vt – vitrinite, It – inertinite (id – inertotetrinite), Lt – (al –
 thalomoalginite, bit – bituminite), Bit – bituminous matter.

ровов архипелага Земля Франца-Иосифа, содержащих ОВ III и II–III типов [7, 8].

В более западных районах Арктического региона на архипелаге Шпицберген и на месторождении Сновит (Норвегия) верхнеюрские отложения содержат смешанное сапропелево-гумусовое (II–III типа) и более катагенетически зрелое ОВ, характеризующееся низкими значениями HI (63–171 мг УВ/г $C_{орг}$) [8]. Максимальные содержания ОВ преимущественно сапропелевого типа в верхнеюрских породах приурочены к наиболее глубоким участкам Южно-Баренцевской впадины и прогибам Норвежского шельфа [8]. Верхнеюрские отложения вошли в главную зону нефтеобразования лишь в центральной части Южно-Баренцевской впадины и прогибах Норвежского шельфа, где они могли генерировать жидкие углеводороды.

Геохимические особенности органического вещества

Результаты геохимических исследований образцов из волжских отложений р. Айюва обн. № 31 приведены в таблице. Содержание ХБА варьирует от 0.028 до 0.63% и достигает максимальных значений в глинистых (0.05–0.6) и горючих (0.06–0.5) сланцах, причем содержание спиртобензольного битумоида (СББ) – 0.3–0.5 % превышает ХБА (ХБ/СББ – 0.6–1.9). Значения битумоидного коэффициента ($\beta_{ХБ}$) низкие и изменяются от 0.22 до 2.35%, что свидетельствует о том, что битумоид является автохтонным. Выход углеводородной фракции достигает 17.19%.

В ХБА горючих сланцев, содержащих компоненты как сапропелевого, так и гумусового ОВ, установлены два типа распределения углеводородов ряда *n*-алканов (рис. 5).

Первый тип характеризуется высоким содержанием *n*- C_{13} - C_{18} относительно *n*-алканов (до 95 %), одномодальным распределением с максимумом на C_{17} . В высокомолекулярной области наблюдается небольшое преобладание нечетных соединений, что подтверждает результаты пиролиза и свидетельствует о незрелости ОВ. В составе исходной биомассы отмечается преобладание водорослевой составляющей [13, 14].

Для второго типа – распределение бимодальное с появлением второго небольшого максимума в высокомолекулярной области C_{25} – C_{27} (относительная концентрация *n*- C_{25} – C_{33} возрастает до 36.57 %) и доминированием нечетных *n*-алканов. Такое распределение характерно для незрелого ОВ горючих сланцев и глин и высоком содержании континентальной органики в исходном ОВ смешанного (II–III) типа.

Сходное бимодальное распределение *n*-алканов с преобладанием нечетных гомологов над четными в высокомолекулярной области характерно для глинистых пород титонского яруса Ледовой площади и архипелага Земля Франца-Иосифа Баренцевоморского региона [7]. Проведенные ранее исследования полициклических биомаркеров и ациклических УВ битумоидов горючих сланцев Айювин-

ского разреза также свидетельствуют о присутствии смешанного (сапропелево-гумусового) органического вещества и его крайне низкой зрелости [6].

Отношение Pr/Ph для большинства образцов варьирует от 0.35 до 0.84, что указывает на восстановительные условия в диагенезе. Имеющиеся единичные повышенные значения этого отношения (более 1) характерны для контакта слоев горючих сланцев и глин, что может свидетельствовать либо о смене условий осадконакопления, либо говорить о большем вкладе гумусовой составляющей при одновременном доминировании нечетных высокомолекулярных УВ [8, 9].

Волжские горючие сланцы и глины Ижемского сланценосного района содержат незрелое, преимущественно сапропелевое ОВ с небольшой долей гумусовой составляющей. Полученные данные органической геохимии подтверждают результаты пиролитических и углепетрографических исследований.

Условия захоронения органического вещества

Накопление большого количества ОВ в осадках, формирующих циклическую толщу волжских отложений, напрямую зависит от биопродуктивности бассейна седиментации. Участки накопления большого количества ОВ распространены в различных зонах моря: от лагун и морских заливов до их центральных частей, в связи с чем глубина их образования оценивается неодинаково: в диапазоне от мелководья до относительного глубоководья.

Обилие организмов в волжских отложениях со значительным преобладанием бентоса говорит об относительном мелководье. Накопление собственно глинистых осадков указывает на низкоэнергетическую обстановку морского бассейна. В целом, палеоэкологические данные указывают на бореальные области и низкоэнергетическую обстановку морского бассейна.

Различия в составе слоев циклитов обусловлены неодинаковым поступлением трех основных составляющих – глинистой, карбонатной и органической (содержанием ОВ). Вероятно, прерывистое поступление ОВ является главным процессом, приводящим к ритмичному строению цикла. По мнению ряда исследователей [15,16], образование сланценосной толщи происходило на фоне частых короткопериодных колебаний уровня моря. На этапах трансгрессии осуществлялся вынос биогенного материала в бассейн, что служило причиной вспышки биопродуктивности и накопления углеродистых осадков.

При рассмотрении полученных данных по составу ОВ установлено, что в пределах Ижемского сланценосного района волжские отложения включают глинистые породы и горючие сланцы, содержащие ОВ II и II–III типов. Формирование пород, богатых ОВ, происходило в относительно мелководных морских обстановках с преимущественно спокойными динамическими условиями. Геохимические показатели свидетельствуют о морской восстановительной обстановке осадконакопления. Привнос

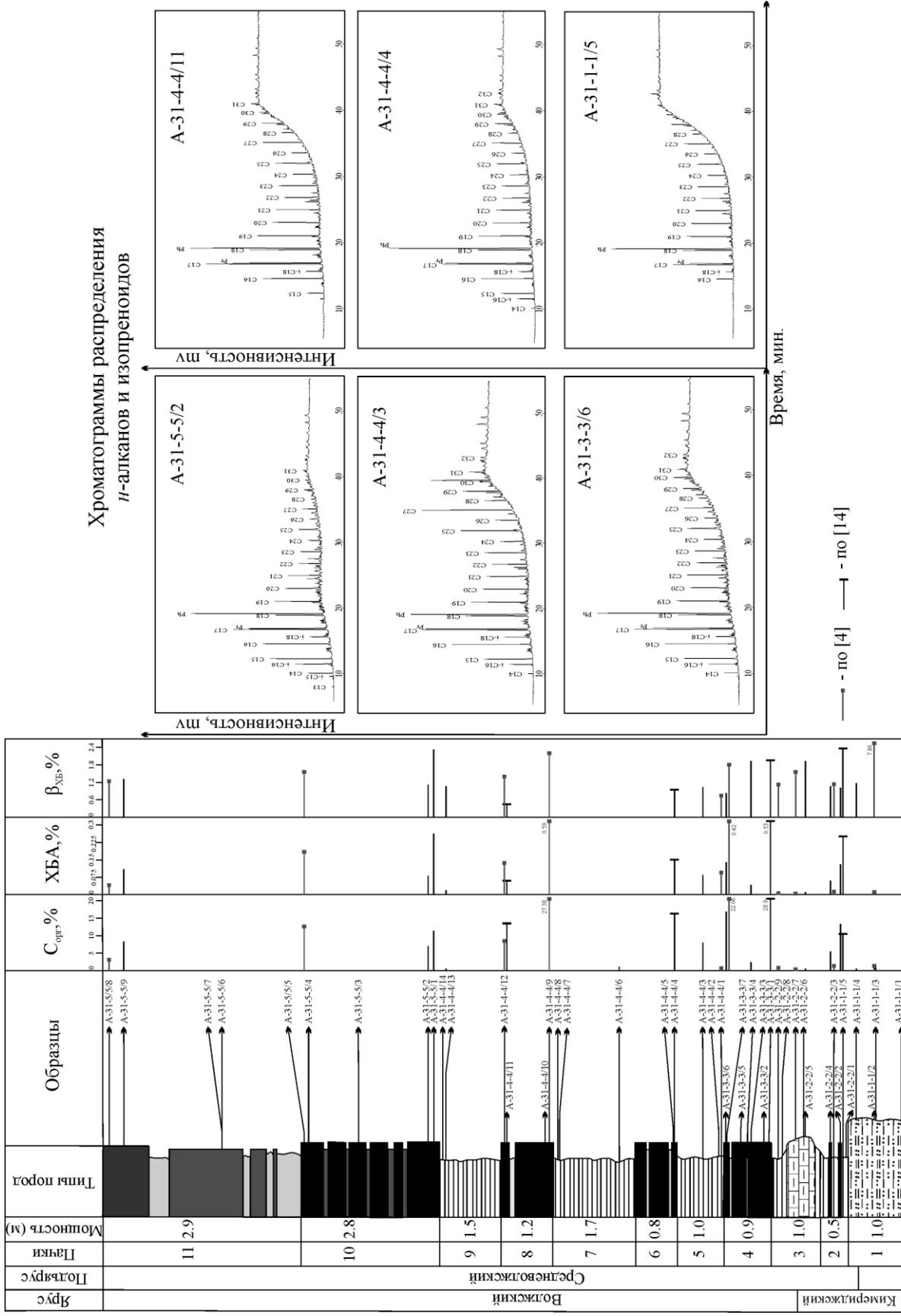


Рис. 5. Литолого-геохимическая характеристика волжских отложений, р. Айюва (с дополнением по: [4, 14]).
 Fig. 5. Lithological and geochemical characteristics of the Volgian deposits, Aiyyu River (with the addition according to: [4, 14]).

гумусового ОВ в целом незначительный, что подтверждается данными петрографических и пиролитических исследований. Более высокая доля гумусового ОВ [8] отмечается в мелководно-морских волжских отложениях островов архипелага Земля Франца-Иосифа Баренцева моря, что, вероятно, связано с обилием поступления терригенного материала [17].

Заключение

В результате проведенных комплексных исследований можно сделать следующие выводы.

1. Разрез волжских отложений Ижемского сланценосного района (р. Айюва) сложен из чередования пяти основных литотипов пород: горючие сланцы, глинистые горючие сланцы, черно-серые глины (керогеновые), серые глины, глинистые известняки. Максимальные содержания до 30 % характерны для горючих сланцев и черно-серых глин. В составе верхнеюрской сланценосной толщи на р. Айюва отмечаются циклиты, обусловленные постепенным переходом от горючих сланцев к серым глинам, через глинистые горючие сланцы и темно-серые глины.

2. Результаты геохимических и углепетрографических исследований свидетельствуют, что в волжских отложениях содержится незрелое (градация катагенеза ПК) ОВ смешанного сапропелево-гумусового состава (II, II–III типов). Высокие значения HI (590–600 мг УВ/г Сорг) свидетельствуют, что ОВ обладает высоким начальным углеводородным потенциалом.

3. Формирование богатых ОВ пород произошло в относительно мелководных морских обстановках с преимущественно спокойными гидродинамическими условиями.

Дальнейшее комплексное (литолого-фациальное, палеонтологическое, углепетрографическое и геохимическое) изучение позволит выявить особенности осадконакопления верхнеюрских отложений и наметить участки распространения пород с высоким содержанием органического вещества и повышенным генерационным потенциалом.

Авторы выражают искреннюю благодарность сотрудникам лаборатории геологии нефтегазоносных бассейнов Института геологии Коми НЦ УрО РАН И. Л. Мочаловой, В. А. Рябовой за помощь в оформлении результатов исследований, а также И. С. Котик, Н. Н. Рябинкиной, С. В. Льюрову за помощь в обсуждении полученных результатов, ценные консультации и замечания.

В работе использованы данные, полученные на аналитическом оборудовании ЦКП «Геонаука».

Литература

1. Горючие сланцы европейского Севера СССР / Л.Ф. Васильева, В.А. Дедеев, Л.А. Дурагина, В.М.Капитанов, Н.А.Колода, Н.В.Конанова, Н.С.Лавренко, С.В.Льюров, Л.А.Мельникова, В.А.Молин, А.М.Павлов, А.И. Птушко. Сыктывкар, 1989. 152 с.
2. Льюров С.В. Юрские отложения севера Русской плиты. Екатеринбург: УрО РАН, 1996. 138 с.
3. Атлас Республики Коми / Науч. ред. Э. А. Савельева. М., 2011. 448 с.
4. Льюров С.В., Селькова Л.А. Геолого-стратиграфическая характеристика Айювинского месторождения горючих сланцев // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2008. № 12. С. 3–5.
5. Генерация углеводородных и гетероатомных соединений высокосернистым горючим сланцем в процессе водного пиролиза / Д.А.Бушнев, Н.С.Бурдельная, С.Н.Шанина, Е.С.Макарова // Нефтехимия. 2004. Т. 44. № 6. С. 1–13.
6. Органическое вещество горючих сланцев Айювинского месторождения / Д.А. Бушнев, Н.С. Бурдельная, С.В. Льюров, И.Н. Бурцев // Известия Коми научного центра УрО РАН. 2016. № 2(26). С. 53–58.
7. Кирюхина Н. М. Нефтегазогенерационный потенциал юрских отложений шельфа Баренцева моря: Дис. канд. геол.-мин. наук. М.: МГУ, 2013. 24 с.
8. Мезозойские нефтегазоматеринские отложения Баренцевоморского нефтегазоносного бассейна / Т.А. Кирюхина, А.В. Ступакова, М.А. Большакова, Н.М. Кирюхина, Д.А. Норина // Геология нефти и газа. 2012. №3. С. 24–35.
9. Большакова М. А. Геолого-геохимические условия формирования нефтегазоносности Штокмановско-Луниной мегаседловины: Дис. канд. геол.-мин. наук. М.: МГУ, 2008. 24 с.
10. Гинзбург А. И. Атлас петрографических типов горючих сланцев. Л.: Недра, 1991. 116 с.
11. Бурдельная Н. С. Моделирование химической структуры керогена и ее трансформации при катагенезе средневожских и доманиковских углеродистых пород Восточно-Европейской платформы: Дис. докт. геол.-мин. наук. Новосибирск: ИНГГ СО РАН, 2017. 37 с.
12. Литолого-геохимическая характеристика волжских отложений Ижемского района (р. Айюва, обн. 31) / О. С. Котик, В. А. Салдин, Д. Н. Шеболкин, Д. А. Груздев, С. В. Льюров, Л. А. Селькова, А. Ю. Михеева, О. В. Валяева // Структура, вещество, история литосферы Тимано-Североуральского сегмента. Сыктывкар: Геопринт, 2019. С. 72–74.
13. Хант Д. Геология и геохимия нефти и газа. М.: Мир, 1982. 706 с.
14. Тиссо Б., Вельте Д. Образование и распространение нефти. М.: Мир, 1981. 501 с.
15. Ю. О. Гаврилов, Е. В. Щепетова, М. А. Рогов, Е. А. Щербинина. Седиментология, геохимия и биота волжских углеродистых отложений северной части Среднерусского моря (Костромская область) // Литология и полезные ископаемые. 2008. №43. С. 354–379.
16. Щепетова Е.В. Палеоклиматические реконструкции по данным о распределении глинистых минералов в верхнеюрских отло-

жениях Русской плиты: возможности и ограничения // Юрская система России; проблемы стратиграфии и палеогеографии. Саратов: Издательский центр «Наука», 2009. С. 257–259.

17. Эволюция обстановок осадконакопления Баренцево-Северо-Карского палеобассейна в фанерозое / В. А. Басов, Л. В. Василенко, К. Г. Вискунова, Е. А. Кораго, М. В. Корчинская, Н. В. Куприянова, Л. Г. Повышева, Э. Н. Преображенская, Т. М. Пчелина, Н. М. Столбов, Е. Б. Суворова, О. И. Супруненко, В. В. Сулова, Н. В. Устинов, В. И. Устрицкий, Л. А. Фефилова // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2009. №4. 44 с.

References

- Goryuchie slancy evropejskogo severa SSSR [Oil shales of the European North of the USSR] / L.F. Vasilyeva, V.A. Dedeev, L.A. Duryagina, V.M. Kapitanov, N.A. Koloda, N.V. Konanova, N.S. Lavrenko, S.V. Lyyurov, L.A. Melnikova, V.A. Molin, A.M. Pavlov, A.I. Ptushko. Syktyvkar, 1989. 152 p.
- Lyyurov S. V. Yurskie otlozheniya severa Russkoj plity. [Jurassic deposits of the north of the Russian plate]. Ekaterinburg: Ural Branch, RAS, 1996. 138 p.
- Atlas Respubliki Komi [Atlas of the Komi Republic] / Sci. ed. E.A.Savelyeva. Moscow, 2011. 448 p.
- Lyyurov S.V., Sel'kova L.A. Geologo-stratigraficheskaya karakteristika Ajuvinskogo mestorozhdeniya goryuchih slancev [Geological and stratigraphic characteristics of the Aiyuva oil shale deposit] // Bull. of Inst. of Geology, Komi Sci. Centre, Ural Branch, RAS. 2008. №12. P. 3–5.
- Generacija uglevodorodnyh i geteroatomnyh soedinenij vysokosernistym gorjuchim slancem v processe vodnogo piroliza [Generation of hydrocarbon and heteroatomic compounds by sulfur-rich oil shale during hydrous pyrolysis] / D.A.Bushnev, N.S.Burdel'naya, S.N.Shanina, E.S.Makarova // Neftehimija [Petroleum Chemistry]. 2004. Vol. 44. № 6. P. 1–13.
- Organicheskoe veshchestvo goryuchih slancev Ajuvinskogo mestorozhdeniya [Organic matter of Aiyuva oil shale deposit] / D.A. Bushnev, N.S. Burdel'naya, S.V. Lyyurov, I.N. Burtsev // Proc. of the Komi Sci. Centre, Ural Branch, RAS. 2016. № 2(26). P. 53–58.
- Kiryukhina N.M. Neftgazogeneracionnyj potencial yurskih otlozhenij shelfa Barenceva morya [Oil and gas generation potential of Jurassic deposits of the Barents sea shelf]: Diss... Cand. Sci. (Geol.&Miner.). Moscow: Moscow State Univ., 2013. 24 p.
- Mezozojskie neftegazomaterinskie otlozheniya Barencevomorskogo neftegazonosnogo bassejna [Mesozoic oil and gas source deposits of the Barents sea oil and gas basin] / T.A. Kiryukhina, A.V.Stupakova, M.A.Bolshakova, N.M.Kiryukhina, D.A.Norina // Oil and gas geology. 2012. №3. P. 24–35.
- Bolshakova M.A. Geologo-geohimicheskie usloviya formirovaniya neftegazonosnosti Shtokmanovsko-Luninskoj megasedloviny [Geological and geochemical conditions for the formation of oil and gas content of the Shtokman-Lunin megasaddle]: Diss... Cand. Sci. (Geol.&Miner.). Moscow: Moscow State Univ., 2008. 24 p.
- Ginzburg A.I. Atlas petrograficheskikh tipov goryuchih slancev [Atlas of petrographic types of oil shales]. Leningrad: Nedra, 1991. 116 p.
- Burdel'naya N.S. Modelirovanie himicheskoj struktury kerogena i ee transformacii pri katageneze srednevolzhskih i domanikovyh uglevodistyh porod Vostochno-Evropejskoj platformy. [Modeling the chemical structure of kerogen and its transformation during catagenesis of the Middle-Volgian and Domanic carbonaceous rocks of the East European platform]: Diss... Dr. Sci. (Geol.&Miner.). Novosibirsk: Inst. of Petroleum Geology and Geophysics, Siberian Branch, RAS. 2017. 37 p.
- Litologo-geohimicheskaya karakteristika volzhskih otlozhenij Izhemskogo rajona (r. Ajuva, obn. 31) [Lithological and geochemical characteristics of the Volgian deposits of the Izhma region (Aiyuva river, outcrop 31)] / O.S. Kotik, V.A. Saldin, D.N. Shebolkin, D.A. Gruzdev, S.V. Lyyurov, L.A. Selkova, A.Yu. Mikheeva, O.V. Valyaeva // Struktura, veschestvo, istoriya litosfery Timano-Severo-ural'skogo segmenta [Structure, matter, and history of the lithosphere of the Timan-North Urals segment]. Syktyvkar: Geoprint, 2019. P. 72–74.
- Hunt J.M. Petroleum geochemistry and geology. San Francisco: W.H. Freeman and Company, 1979. 617 p.
- B.P.Tissot, D.H.Welte. Petroleum formation and occurrence (a new approach to oil and gas exploration). Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 1978. 699 p.
- Yu.O.Gavrilov, E.P.Shchepetova, M.A.Rogov, E.A.Shcherbinina. Sedimentologiya, geohimiya i biota volzhskih uglevodistyh otlozhenij severnoj chasti Srednerusskogo morya (Kostromskaya oblast) [Sedimentology, geochemistry and biota of the Volgian carbonaceous deposits in the northern part of the Central Russian Sea (Kostroma region)] // Lithology and Mineral Resources. 2008. №43. P. 354–379.
- Shchepetova E. V. Paleoklimaticheskie rekonstrukcii po dannym o raspredelenii glinistykh mineralov v verhneyurskih otlozheniyah Russkoj plity: vozmozhnosti i ogranicheniya [Paleoclimatic reconstructions based on data on the distribution of clay minerals in the Upper Jurassic deposits of the Russian plate: possibilities and limitations] // Jurassic system of Russia; problems of stratigraphy and

- paleogeography. Saratov: “Nauka” Publ. Center, 2009. P. 257–259.
17. *Evolyuciya obstanovok osadkonakopleniya Barentsevo-Severo-Karskogo paleobassejna v fanerozoe* [Evolution of sedimentary environments of the Barents-North Kara palaeobasins in the Phanerozoic] / *V.A. Basov, L.V. Vasilenko, K.G. Viskunova, E.A. Korago, M.V. Korchinskaya, N.V. Kupriyanova, L.G. Povyshcheva, E.N. Preobrazhenskaya, T.M. Pchelina, N.M. Stolbov, E.B. Suvorova, O.I. Suprunenko, V.V. Suslova, N.V. Ustinov, V.I. Ustritsky, L.A. Fefilova* // Oil and gas geology. Theory and practice. 2009. №4. 44 p

Статья поступила в редакцию 01.10.2020