ГЕОХИМИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ДОМАНИКОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ РАЗРЕЗА Р. ПЫМВАШОР, ГРЯДА ЧЕРНЫШЕВА (ТИМАНО-ПЕЧОРСКИЙ БАССЕЙН)

И. С. Котик, О. В. Валяева, Д. А. Бушнев, А. В. Журавлев
Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар; ivkotik@gmail.com

Изучен углеводородный состав органического вещества доманиковых отложений из естественных выходов на р. Пымвашор в северной части гряды Чернышева. Показаны различия в распределении углеводородов-биомаркеров в зависимости от литологического состава пород и условий накопления органического вещества. Битумоиды известковистых аргиллитов отличаются профилем распределения *n*-алканов (максимум при *n*-C₁₃—*n*-C₁₈), повышенным отношением Pr/Ph и повышенными содержаниями гопанов. Катагенетическая преобразованность органического вещества, оцененная по данным стерановых, гопановых и ароматических углеводородов, соответствует середине главной зоны нефтегенерации ($R_o \sim 0.6$ — 0.75 %). Данный уровень катагенеза также подтверждается индексами окраски конodontовых элементов (ИОК 2.5—3). Учитывая неоднородность распределения биомаркеров, генерированные органическим веществом доманиковых отложений нефтяные углеводороды будут обладать различными параметрами.

Ключевые слова: гряда Чернышева, органическое вещество, доманиковый горизонт, биомаркеры.

ORGANIC MATTER GEOCHEMISTRY OF THE DOMANIK SECTION ALONG THE PYMVASHOR RIVER, CHERNYSHEV SWELL (TIMAN-PECHORA BASIN)

I. S. Kotik, O. V. Valyaeva, D. A. Bushnev, A. V. Zhuravlev
Institute of Geology, Komi SC UB RAS, Syktyvkar

The hydrocarbon composition of organic matter from outcrops of Domanik Formation along the Pymvashor river at the Chernyshev swell was studied. The biomarkers distribution in the samples was variable. It depended on the lithological composition of the rocks and depositional environment of organic matter. The extracted bitumens from calciferous argillite had differences in the distribution of *n*-alkanes (maximum at *n*-C₁₃—*n*-C₁₈), higher Pr/Ph ratio and higher content of hopanes. Organic matter maturity was defined based on sterane and homohopane biomarkers indicators and aromatic maturity parameters. All maturity indicators suggest that the organic matter of Domanik Formation was in the peak stage of oil generation ($R_o \sim 0.6$ — 0.75 %). This level of maturity is also confirmed by conodont Color Alteration Index (CAI) values in the range of 2.5—3. Based on the differences in the biomarkers distribution of the organic matter Domanik Formation, the oils generated by it would have different hydrocarbon features.

Keywords: Chernyshev swell, Domanik Formation, organic matter, biomarkers.

Введение

Доманиковые отложения являются одними из основных нефтематеринских толщ в Тимано-Печорском нефтегазоносном бассейне [2, 6]. Проведенное ранее изучение углеводородного (УВ) состава нефтей верхнего девона, генетически связанных с нефтематеринскими породами доманика, показало вариативность их геохимических параметров, что связывается с латеральной изменчивостью органического вещества (ОВ) и условиями его захоронения [3]. Геохимические исследования ОВ доманиковых отложений на различных участках гряды Чернышева также показали различия в распределении УВ-биомаркеров [3, 4]. Для исследуемого разреза на р. Пымвашор изучение геохимии ОВ проводится впервые, поэтому полученные новые данные позволят уточнить как латеральную изменчивость, так и специфику УВ-состава ОВ доманиковых отложений гряды Чернышева.

Район и объект исследований

Разрез исследованных доманиковых отложений расположен в северной части гряды Чернышева, где они вскрываются в естественных выходах по р. Пымвашор, левого притока р. Адзвы (рис. 1). Изученный разрез сложен преимущественно известняками, реже кремнистыми известняками и известковистыми аргиллитами. Среднефранский (домани-

ковый) возраст отложений определен по комплексу конodontов, включающему *Mesotaxis falsiovalis* Sandberg, Ziegler, Bultynck, *Mesotaxis asymmetricus* (Bischoff et Ziegler), *Mesotaxis bogoslovskyi* Ovnatanova et Kuzmin, *Klapperina ovalis* (Ziegler et Klapper), *Palmatolepis transitans* Muller, *Palmatolepis planus* Ziegler et Sandberg, *Palmatolepis punctata* (Hinde), *Polygnathus uchtensis* Ovnatanova et Kuzmin, *Polygnathus* aff. *timanicus* Ovnatanova, *Ligonodina pectinata* Bassler u *Icriodus symmetricus* Branson et Mehl. Ранее А. И. Першиной доманиковый возраст этих отложений определялся по брахиоподам [8].

Методы исследований

Содержания органического углерода (C_{org} , %) в породе определялось на экспресс-анализаторе АН-7529 методом сжигания в токе кислорода образцов, предварительно обработанных 10 %-й соляной кислотой. Выделение битумоидов из пород проводили методом горячей экстракции хлороформом в аппарате Сокслета. Полученные экстракты хлороформенных битумоидов (ХБА, %) подвергались фракционированию с выделением насыщенных и ароматических УВ. Газохроматографический анализ УВ-состава насыщенной фракции (*n*-алканов и изопреноидов) проводился на приборе «Кристалл-2000М». Изучение молекулярного состава полициклических насыщенных

Рис. 1. Обзорная карта района исследований (а) и литологическая колонка изученного разреза (б)
Fig. 1. Schematic map of the investigated area (a) and lithological column of the studied section (b)

ных и ароматических УВ методом хромато-масс-спектрометрии выполнялось на приборе Shimadzu 2010 Ultra.

Результаты исследований и их обсуждение

Химико-битуминологическая характеристика

Содержание $C_{орг}$ в исследуемом разрезе доманиковых отложений изменяется в широких пределах — от 0.2 до 12.4 %. Концентрации ОВ меняются в зависимости от литологического состава пород. В известняках содержание $C_{орг}$ находится в пределах 0.2—1.9 %, а в известковистых аргиллитах $C_{орг}$ достигает 7.7—12.4 %.

Выход ХБА изменяется с той же тенденцией. В известняках ХБА составляет 0.019—0.129 % и повышается до 0.749—0.912 % в аргиллитах. Значения битуминоидного коэффициента ($\beta^{ХБ}$, %) составляют 7—11 %, что указывает на сингенетичность изученных битумоидов вмещающим отложениям.

УВ-состав битумоидов

Ациклические УВ. *n*-алканы и изопреноиды

Экстрагированные из известняков и аргиллитов битумоиды отличаются по составу и распределению нормальных алканов. В битумоидах аргиллитов — мономодальное распределение *n*-алканов с максимумом в области $n-C_{13}-C_{18}$ (рис. 2, а). В области высокомолекулярных *n*-алканов наблюдаются пики полициклических УВ. В известняках наблюдается иной профиль распределения *n*-алканов. Концентрационный максимум смещен в область $n-C_{18}-C_{24}$ и увеличен ряд диагностированных УВ с более высокими молекулярными весами до $n-C_{34}$ (рис. 2, б).

Содержание изопреноидных алканов составляет 15—22 %. Среди них в наибольших концентрациях обычно находится пристан. По величине отношения пристана (Pr) к фитану (Ph) среди изученных образцов также устанавливаются различия. В известняках отношение Pr/Ph составляет 1.10—1.73. Для аргиллитов характерны более повышенные значения — 1.52—1.91. По соотношению нормальных и *изо*-алканов зна-

чения $Pr/n-C_{17}$ и $Ph/n-C_{18}$ для исследованных битумоидов являются схожими (см. таблицу). Исключением является образец ПШ/7, для которого эти показатели наиболее низкие — 0.45 и 0.32 соответственно, за счет повышенных концентраций УВ $n-C_{17}$ и $n-C_{18}$.

Полученные данные по распределению n - и $изо$ -алканов в изученных битумоидах характеризуют морское ОВ, источником которого являлся фитопланктон и бактерии [8].

Полициклические УВ. Стераны и терпаны

Распределение стерановых УВ сходно во всех исследованных образцах. Среди них в наибольших кон-

центрациях присутствуют холестеран (C_{27}) и этилхолестеран (C_{29}) (таблица, рис. 2). Их содержания составляют соответственно 30—34 и 49—56 %, отношение C_{29}/C_{27} меняется в пределах 1.5—1.8. Считается, что основным источником стерана C_{27} является морской фитопланктон, а C_{29} — высшие наземные растения [10, 16]. Учитывая, что осадконакопление в исследуемом районе гряды Чернышева проходило в условиях относительно глубоководной впадины на шельфе [7], вдали от источников сноса гумусового органического материала, участие такого ОВ в распределении стеранов исключается. Повышенные концентрации стерана C_{29} , вероятно, являются характерной «био-

Геохимическая характеристика исследованных образцов

Geochemical characteristic of the studied samples

Образец Sample	ПШ/4	ПШ/8	ПШ/13	ПШ/7	ПШ/9	ПШ/12
Литология Lithology	известняк кремнистый siliceous limestone	известняк limestone	известняк limestone	аргиллит известковистый calcareous argillite	аргиллит известковистый calcareous argillite	аргиллит известковистый calcareous argillite
Битуминология / Bitumology						
$C_{орг}$, % / ТОС, %	1.9	0.6	0.2	8.2	12.4	7.7
ХБА, % / СЕВ, %	0.129	0.070	0.019	0.912	0.895	0.749
β^{XB} , %	7	11	8	11	7	10
n -алканы и изопреноиды / n -alkanes and isoprenoids						
Pr/Ph	1.10	1.28	1.73	1.91	1.52	1.91
$Pr/n-C_{17}$	0.84	0.93	0.96	0.45	1.03	0.82
$Ph/n-C_{18}$	0.80	0.73	0.67	0.32	0.78	0.55
Стераны / Steranes						
$\alpha\beta\beta$ C_{27} , %	33	33	30	31	34	30
$\alpha\beta\beta$ C_{28} , %	16	17	14	17	18	15
$\alpha\beta\beta$ C_{29} , %	50	50	56	52	49	54
C_{27}/C_{29}	0.66	0.66	0.54	0.59	0.69	0.55
$C_{21}-C_{22}/C_{29}$	0.36	0.40	0.27	0.44	0.68	0.52
C_{27} диа/рег (C_{27} dia/reg)	0.6	0.4	0.7	0.3	0.3	0.4
C_{29} 20S/20S+R	0.45	0.47	0.47	0.43	0.45	0.45
C_{29} $\alpha\beta\beta/\alpha\beta\beta + \alpha\alpha\alpha$	0.55	0.56	0.57	0.52	0.53	0.53
Терпаны / Terpanes						
C_{24}/C_{23}	0.70	0.72	0.59	0.85	0.94	0.68
$C_{30}/C_{31}-C_{35}$	0.76	0.68	0.65	0.85	0.91	0.99
$C_{35}S/C_{34}S$	0.63	0.83	0.81	0.73	0.71	0.79
C_{32} 22S/22S+R	0.62	0.59	0.59	0.59	0.59	0.60
Ts/Tm	0.84	0.46	0.74	0.48	0.31	0.54
Σ Трициклических / Σ пентациклических (Σ tricyclic/ Σ pentacyclic)	0.17	0.26	0.18	0.15	0.17	0.18
Стераны/гопаны Steranes/hopanes	0.24	0.26	0.36	0.11	0.09	0.15
Показатели зрелости по ароматическим углеводородам Maturity indicators by aromatic hydrocarbons						
MPI-1	0.55			0.53	0.56	0.57
Ro (расчёт по MPI-1) (calculated by MPI-1)	0.73			0.72	0.73	0.74
MDR	2.04			1.62	1.56	1.58
Ro (расчёт по MDR) (calculated by MDR)	0.66			0.63	0.62	0.63

Примечание. β^{XB} = ХБА/ $C_{орг}$. C_{27} диа/рег = C_{27} $\alpha\beta\alpha$ 20S+20R диастераны / C_{27} $\alpha\beta\beta$ 20S+20R регулярные стераны. Ts/Tm = C_{27} 17 α (H)-трисноргопан / C_{27} 18 α (H)-триснорнеогопан. MPI-1=1.5*2-MP+3-MP/P+1-MP+9-MP. MDR=4-MDBT/1-MDBT.

Note. β^{XB} = СЕВ/ТОС. C_{27} dia/reg = C_{27} $\alpha\beta\alpha$ 20S+20R diasteranes / C_{27} $\alpha\beta\beta$ 20S+20R regular steranes. Ts/Tm = C_{27} 17 α (H)-trisorhopane / C_{27} 18 α (H)-trisorneohopane. MPI-1=1.5*2-MP+3-MP/P+1-MP+9-MP. MDR=4-MDBT/1-MDBT.

Рис. 2. Хроматограммы и масс-фрагментограммы распределения алкановых, стерановых (m/z 217) и терпановых УВ (m/z 191) насыщенной фракции битумоидов известковистых аргиллитов (а) и известняков (б)

Fig. 2. Chromatograms and mass-fragmentograms showing distributions of alkanes, steranes (m/z 217) and terpanes (m/z 191) of the saturated fractions in the extracts from calciferous argillite (a) and limestones (b)

меткой» ОВ пород и нефтей франских отложений для всего Тимано-Печорского нефтегазоносного бассейна [2—4].

В составе терпанов преобладают гопаны, их концентрации составляют 79–87 %. Отношение трицикланов к гопанам низкое — 0.15–0.18. Среди гопанов в максимальных содержаниях находится УВ состава C_{30} , составляя 28–34 % от суммы гопанов (рис. 2).

По составу и распределению полициклических УВ среди изученных образцов также наблюдаются различия в зависимости от литологии пород. В битумоидах известняков повышено содержание стеранов, отношение стеранов к гопанам для них составляет 0.24—0.36 (рис. 3, а; таблица). В известковистых аргиллитах величина отношения этих групп УВ не превышает 0.15. Установлено, что основным источником тритерпанов являются липиды, входящие в состав мембран бактерий [11, 16], поэтому низкие значения

отношения стеранов/гопанов свидетельствуют о преобладающем вкладе бактериального ОВ.

Изученные битумоиды также дифференцируются по биомаркерным параметрам, характеризующим литологический состав осадков, в которых накапливалось ОВ. Повышенные значения отношения трициклических терпанов C_{24}/C_{23} и увеличение отношения гомогпанов $C_{35}S/C_{34}S$ отражают преобладание карбонатного состава пород, вмещающих ОВ [12]. Среди исследованных битумоидов отклоняется от этой зависимости только образец кремнистого известняка (рис. 3, b; таблица).

Для битумоидов, выделенных из аргиллитов, характерно наличие несколько более высоких концентраций прегнанов C_{21} – C_{22} по сравнению со стеранами состава C_{27} – C_{29} , а также более высокие содержания гопанов состава C_{29} – C_{30} по отношению к гомогпанам C_{31} – C_{35} (таблица, рис. 2). По нашему мнению,

Рис. 3. Дифференциация битумоидов по биомаркерным параметрам, характеризующим состав исходного ОВ (а) и литологический состав пород (b):

1 — известковистые аргиллиты, 2 — известняки

Fig. 3. Plots of biomarker-related parameters showing the composition of organic matter (a) and source rocks lithological characteristics (b): 1 — calciferous argillite, 2 — limestones

возможно, накопление таких сравнительно короткоцепочечных производных стеранов и гопанов в аргиллитах обусловлено более высокой каталитической активностью минеральной части породы при идентичном исходном ОВ. В литературе имеются сведения, что высокие концентрации прегнанов и пониженные диастеранов характерны для восстановительных обстановок накопления ОВ, а пониженные концентрации прегнанов при повышенных концентрациях диастеранов, напротив, характерны для окислительных обстановок с привнесом терригенного материала [15].

Катагенез ОВ

Катагенетическая преобразованность ОВ устанавливалась по параметрам зрелости, рассчитанным для полициклических биомаркеров стеранового и гопанового рядов, а также по распределению ароматических УВ. Дополнительно степень катагенеза оценивалась по индексам окраски конодонтовых элементов.

Для оценки зрелости ОВ используются значения стерановых индексов $20S/20S+R$ и $\alpha\beta\beta/\alpha\beta\beta+\alpha\alpha\alpha$ для УВ состава C_{29} . Полученные значения этих индексов составляют 0.43—0.47 и 0.52—0.57 соответственно (см. таблицу), что указывает на катагенетическую преобразованность ОВ до градации $МК_2$ ($R_o \sim 0.60—0.75\%$) [12, 16]. Степень зрелости ОВ также качественно можно оценить по соотношению перегруппированных стеранов (диастеранов) $\beta\alpha C_{27}$ к регулярным. Полученные значения (> 0.3) (см. таблицу) характеризуют зрелое ОВ, достигшее главной зоны нефтегенерации [16].

Оценка катагенеза ОВ по гопановым параметрам зрелости согласуется с данными по стеранам. Значения отношения $22S/22S+R$, рассчитанные для C_{32} $\alpha\beta$ -гомогопана, достигают равновесных величин 0.59—0.62 (таблица, рис. 4), что подтверждает степень преобразованности ОВ до уровня главной зоны нефтегенерации [11, 12].

Распределение ароматических УВ также несет информацию о степени катагенетической трансформации ОВ. Наиболее широко используемыми показателями для определения уровня термической зрелости

Рис. 4. Катагенетическая преобразованность ОВ по биомаркерным параметрам [12]

Fig. 4. Maturity of organic matter by biomarker parameters [12]

ОВ является метилфенантеновый индекс (MPI-1), отражающий отношение концентраций фенантрена и его гомологов [12]. Корреляционная зависимость величины MPI-1 с показателем отражения витринита (R_o , %) позволяет проводить теоретический расчет R_o . Согласно предложенным формулам расчета [14], значение R_o для исследованных образцов составляет 0.72—0.74 %.

Следующим параметром, позволяющим оценить катагенетическую преобразованность ОВ, является метилдибензотиофеновый индекс (MDR), выраженный отношением 4-МДБТ/1-МДБТ [13]. На основании предложенных формул расчета по этому показателю величина R_o составляет 0.62—0.66 %. Таким образом, согласно полученным данным показателей MPI-1 и MDR, степень катагенеза ОВ соответствует грациям конца $МК_1$ — середины $МК_2$.

Катагенетическая преобразованность определялась также по окраске конодонтовых элементов. Экспериментально установленная зависимость изменения окраски от температуры и длительности термального воздействия позволяет использовать цвет конодонтов, выраженный через индексы окраски

(ИОК), для приблизительной оценки степени термального преобразования вмещающих пород [9]. Для исследованных образцов значения ИОК изменяются в пределах 2.5–3, что соответствует температуре длительного прогрева 120–150 °C [5]. Такой уровень термального воздействия также отвечает условиям катагенеза на градации МК₁ – МК₂ [1].

Заключение

Проведенные исследования позволили получить новые данные по геохимии ОБ доманиковых отложений гряды Чернышева. Степень катагенетической преобразованности, оцененная по УВ-параметрам и данным ИОК, указывает, что отложения и заключенное в них ОБ достигло середины главной зоны нефтегенерации (МК₁ – МК₂).

Распределение алкановых и полициклических УВ-биомаркеров свидетельствуют о различном составе ОБ в зависимости от литологии вмещающих отложений. Битумоиды известковистых аргиллитов отличаются от битумоидов карбонатных отложений повышенным вкладом бактериального материала в составе исходного ОБ. Учитывая неоднородность состава ОБ доманиковых отложений, нефтяные продукты его преобразования будут иметь различные параметры УВ-биомаркеров.

Аналитические исследования выполнялись в Институте геологии Коми НЦ УрО РАН (ЦКП «Геонаука», г. Сыктывкар).

Литература

1. Аммосов И. И., Горшков В. И., Грецишников Н. П., Еремин И. В., Прянишников В. К., Степанов Ю. В. Петрология органических веществ в геологии горючих ископаемых. М.: Наука, 1987. 333 с.
2. Баженова Т. К., Шиманский В. К., Васильева В. Ф., Шапиро А. И., Яковлева (Гембицкая) Л. А., Климова Л. И. Органическая геохимия Тимано-Печорского бассейна. СПб.: ВНИГРИ, 2008. 164 с.
3. Бушнев Д. А., Бурдельная Н. С., Валяева О. В., Деревесникова А. А. Геохимия нефтей позднего девона Тимано-Печорского бассейна // Геология и геофизика. 2017. Т. 58. С. 410–422.
4. Бушнев Д. А., Бурдельная Н. С., Журавлев А. В. Органическое вещество верхнедевонских отложений гряды Чернышева // Геохимия. 2017. № 6. С. 527–538.
5. Журавлев А. В. Оценка степени термального катагенеза палеозойских отложений севера Пай-Хойского паравтохтона по индексам окраски конодонтов // Литосфера. 2017. № 1. С. 44–52.
6. Клименко С. С., Анищенко Л. А. Особенности нафтидогенеза в Тимано-Печорском нефтегазоносном бассейне // Известия Коми НЦ УрО РАН. 2010. № 2. С. 61–69.
7. Пармузина Л. В. Верхнедевонский комплекс Тимано-Печорской провинции (строение, условия образования, закономерности размещения коллекторов и нефтегазоносность). СПб.: Недра, 2007. 152 с.
8. Першина А. И. Силурийские и девонские отложения гряды Чернышева. Л.: Изд-во АН СССР, 1962. 122 с.
9. Epstein A. G., Epstein J. B., Harris L. D. Conodont color alteration — an index organic metamorphism / U. S. Geological Survey Professional Paper 995, 1977. 27 p.

10. Huang W. Y., Meinschein W. G. Sterols as ecological indicators // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1979. V. 43. P. 739–745.

11. Peters K. E., Moldowan J. M. Effects of source, thermal maturity, and biodegradation on the distribution and isomerization of homohopanes in petroleum // *Organic Geochemistry*. 1991. V. 17. P. 47–61.

12. Peters K. E., Walters C. C., Moldowan J. M. The biomarker guide. Biomarkers and isotopes in petroleum systems and Earth history. 2nd edition. Cambridge University Press, Cambridge, 2005. Vol. 2. 1155 p.

13. Radke M. Application of aromatic compounds as maturity indicators in source rocks and crude oils // *Marine and petroleum geology*. 1988. V. 5. P. 224–236.

14. Radke M., Welte D. H., Willsch H. Maturity parameters based on aromatic hydrocarbons: Influence of the organic matter type // *Organic Geochemistry*. 1986. V. 10. P. 51–63.

15. Wang G., Chang X., Wang T.-G., Simoneit B. R. T. Pregnanes as molecular indicators for depositional environments of sediments and petroleum source rocks // *Organic Geochemistry*. 2015. V. 78. P. 110–120.

16. Waples D. W., Machihara T. Biomarkers for geologist — a practical guide to the application of steranes and triterpanes in petroleum geology // *AAPG methods and exploration*. 1991. No. 9. 71 p.

References

1. Ammosov I. I., Gorshkov V. I., Grechishnikov N. P., Yerein I. V., Pryanishnikov V. K., Stepanov Y. V. *Petrologiya organicheskikh veshchestv v geologii goryuchikh iskopaemykh* (Petrology of organic matter in the geology of fossil fuels). Moscow: Nauka, 1987, 333 p.
2. Bazhenova T. K., Shimanskiy V. K., Vasilyeva V. F., Shapiro A. I., Yakovleva (Gembitskaya) L. A., Klimova L. I. *Organicheskaya geokhimiya Timano-Pechorskogo basseyna* (Organic geochemistry of the Timan-Pechora basin). Saint-Petersburg: VNIGRI, 2008, 164 p.
3. Bushnev D. A., Burdel'naya N. S., Valyayeva O. V., Derevesnikova A. A. *Geokhimiya neftey pozdnego devona Timano-Pechorskogo basseyna* (Geochemistry of Late Devonian oils of the Timan-Pechora basin). *Geologiya i geofizika*, 2017, No. 58, pp. 410–422.
4. Bushnev D. A., Burdel'naya N. S., Zhuravlev A. V. *Organicheskoye veshchestvo verkhnedevonskikh otlozheniy gryady Chernysheva* (Organic matter in Upper Devonian deposits of the Chernyshev Ridge). *Geokhimiya*, 2017, No. 6, pp. 527–538.
5. Zhuravlev A. V. *Otsenka stepeni termalnogo katagenez-a paleozoysskikh otlozheniy severa Paykhoyskogo paravtokhtona po indeksam okraski konodontov* (Estimation of Paleozoic rocks thermal maturity of the Northern Pay-Khoy parautochthone on the basis of conodonts color alteration indexes). *Litosfera*, 2017, No. 1, pp. 44–52.
6. Klimenko S. S., Anischenko L. A. *Osobennosti naftidogeneza v Timano-Pechorskom neftegazonosnom basseyne* (Features of evolution of naphthide genesis of Timan-Pechora basin). *Izvestiya Komi nauchnogo tsentra UrO RAN* (Proceedings of the Komi Science Centre UB RAS), 2010, No. 2, pp. 61–69.
7. Parmuzina L. V. *Verkhnedevonskiy kompleks Timano-Pechorskoy provintsii (stroeniye, usloviya obrazovaniya, zakonornosti razmeshcheniya kollektorov i neftegazonosnost)* (The Upper Devonian complex of the Timan-Pechora Province (structure, formation conditions, regularities of reservoir location and oil and gas potential)). Saint-Petersburg: Nedra, 2007, 152 p.

8. Pershina A. I. *Siluriyskiye i devonskiye otlozheniya gryady Chernysheva* (Silurian and Devonian deposits of the Chernyshev ridge). Saint-Petersburg: AN SSSR, 1962, 122 p.
9. Epstein A. G., Epstein J. B., Harris L. D. Conodont color alteration — an index organic metamorphism. U. S. Geological Survey Professional Paper 995, 1977, 27 p.
10. Huang W. Y., Meinschein W. G. Sterols as ecological indicators. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1979, V. 43, pp. 739—745.
11. Peters K. E., Moldowan J. M. Effects of source, thermal maturity, and biodegradation on the distribution and isomerization of homohopanes in petroleum. *Organic Geochemistry*, 1991, V. 17, pp. 47—61.
12. Peters K. E., Walters C. C., Moldowan J. M. The biomarker guide. Biomarkers and isotopes in petroleum systems and Earth history. 2nd edition. Cambridge University Press, Cambridge, 2005, Vol. 2, 1155 p.
13. Radke M. Application of aromatic compounds as maturity indicators in source rocks and crude oils. *Marine and petroleum geology*, 1988, V. 5, pp. 224—236.
14. Radke M., Welte D. H., Willsch H. Maturity parameters based on aromatic hydrocarbons: Influence of the organic matter type. *Organic Geochemistry*, 1986, V. 10, pp. 51—63.
15. Wang G., Chang X., Wang T.-G., Simoneit B. R. T. Pregnanes as molecular indicators for depositional environments of sediments and petroleum source rocks. *Organic Geochemistry*, 2015, V. 78, pp. 110—120.
16. Waples D. W., Machihara T. Biomarkers for geologist — a practical guide to the application of steranes and triterpanes in petroleum geology. AAPG methods and explanation, 1991, No. 9, 71 p.