ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ УГЛЕРОДА НЕФТЕЙ НИЖНЕГО ПАЛЕОЗОЯ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ТИМАНО-ПЕЧОРСКОГО БАСЕЙНА

Д. А. Бушнев, О. В. Валяева, Н. С. Бурдельная

Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар
boushnev@geo.komisc.ru

Исследован изотопный состав углерода отличающихся по полярности фракций и индивидуальных *n*-алканов нефтей нижнего палеозоя северной части Тимано-Печорского бассейна, имеющих признаки геохимической связи с органическим веществом ордовикского возраста, образованного остатками проблематичной водоросли *Gloeocapsomorpha prisca* (*G. prisca*). Показано, что углерод всех фракций исследованных нефтей имеет сравнительно лёгкий изотопный состав – примерно $-31,5\text{‰}$ $\delta^{13}\text{C}$ в среднем, что значительно ниже, чем углерод ранее изученных нефтей верхнего девона, генетически связанных с отложениями доманика. Изотопные профили углерода *n*-алканов исследуемых нефтей не имеют резко выраженных аномалий, лишь для углеводорода состава C_{17} наблюдается небольшое обогащение лёгким изотопом углерода, $n\text{-C}_{19}$ не отличим по изотопному составу углерода от соседних чётных гомологов. Полученные данные сопоставлены с ранее опубликованными результатами по аналогичным по происхождению нефтям бассейнов Иллинойс (США) и Каннинг (Австралия). Показано, что изотопные профили *n*-алканов ордовикских нефтей этих двух бассейнов контрастно отличаются, а данные по нефтям Тимано-Печорского бассейна ближе к нефтям Австралии, чем США.

Ключевые слова: нефти *G. prisca*, изотопия углерода *n*-алканов, Тимано-Печорский бассейн.

CARBON ISOTOPIC COMPOSITION OF LOWER PALEOZOIC OILS IN THE NORTHERN PART OF THE TIMAN-PECHORA BASIN

D. A. Bushnev, O. V. Valyaeva, N. S. Burdelnaya

Institute of Geology FRC Komi SC UB RAS, Syktyvkar

The carbon isotope composition of different in polarity fractions and individual *n*-alkanes of Lower Paleozoic oils in the northern part of the Timan-Pechora basin, showing geochemical signs of an organic matter of Ordovician age, formed by the remains of the problematic *Gloeocapsomorpha prisca* (*G. prisca*) alga, was studied. It is shown that the carbon of all fractions of the studied oils has a relatively light isotopic composition of about -31.5‰ $\delta^{13}\text{C}$ on average, which is significantly lower than the carbon of previously studied Upper Devonian oils genetically related to Domanik deposits. The carbon isotope profiles of the *n*-alkanes of the studied oils do not have pronounced anomalies, only for the C_{17} hydrocarbon, a slightly depleted in heavy carbon isotope is observed, $n\text{-C}_{19}$ is not distinguished by carbon isotopic composition from the neighboring even homologues. The data obtained are compared with previously published data for oil of the basins of Illinois (USA) and Canning (Australia) similar in Ordovician *G. prisca* origin. It is shown that the isotope profiles of *n*-alkanes of the Ordovician oils of these two basins differ in contrast, and the data on the Timan-Pechora basin oils are closer to those of Australia than the United States ones.

Keywords: *G. prisca* oil, carbon isotopy of *n*-alkanes, Timan-Pechora basin.

Введение

Нефти нижнего палеозоя северной части Тимано-Печорского бассейна уже изучались нами [4] с точки зрения состава содержащихся в них углеводородов биомаркеров. Высказывалось предположение о генетической связи ряда нефтей из силурийско-нижнедевонских резервуаров с органическим веществом ордовикских отложений, образованным остатками проблематичного организма – водоросли *G. prisca* [1].

Изотопный состав углерода фракций нефти и индивидуальных алканов [6] является важным критерием при генетических исследованиях нефтей и ископаемого органического вещества. Данные по изотопному составу углерода индивидуальных *n*-алканов позволяют осуществлять геохимическую корреляцию весьма разнородных объектов [3].

Целью настоящей работы является анализ данных об изотопном составе углерода фракций и индивидуальных *n*-алканов ряда нефтей из отложений нижнего палеозоя северной части Тимано-Печорского бассейна, имеющих по данным состава углеводородов биомаркеров единое происхождение и обладающих рядом специфических черт углеводородного состава. Среди этих

признаков – высокие концентрации *n*-алканов состава C_{17} и C_{19} , а также низкие содержания ациклических изопреноидов, в том числе пристана и фитана. Кроме того, важной целью является сопоставление данных по нефтям Тимано-Печоры, генетически связанных с *G. prisca*, и данных по известным бассейнам мира.

Экспериментальная часть

Фракционирование нефти

Из образца нефти избытком *n*-гексана осаждались асфальтены, осадок отфильтровывался и промывался *n*-гексаном до обесцвечивания. Асфальтены на фильтре растворялись в хлороформе и после удаления растворителя взвешивались. Мальтеновая фракция подвергалась разделению на колонке с Al_2O_3 (Fluka). Аполярная фракция выделялась при элюировании смесью *n*-гексан/дихлорметан (80/20 по объёму), а полярная (смоли) – смесью бензол/этанол (50/50 по объёму). Аполярная фракция разделялась на насыщенную и ароматическую на силикагеле (Fluka), *n*-гексаном элюировались насыщенные углеводороды, а бензолом – ароматические.

Выделение *n*-алканов из насыщенных фракций нефти осуществлялось соосаждением их с мочевиной из этанола. После промывания этанолом полученный аддукт растворяли в воде и экстрагировали *n*-гексаном ($\times 3$). Контроль качества выделения парафинов проводился методом ГЖХ.

Измерение $\delta^{13}\text{C}$

Анализ изотопного состава углерода проводился на масс-спектрометре Thermo Delta V Advantage. Изотопный состав углерода во фракциях выполнялся с использованием элементного анализатора Flash EA. Погрешность измерения составляла 0.15 ‰ $\delta^{13}\text{C}$. Аналитик – И. В. Смолева (ИГ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар).

Анализ изотопного состава углерода индивидуальных *n*-алканов проводился на масс-спектрометре Thermo Delta V Advantage с использованием хроматографа Trace GC Ultra, совмещённого с системой IsoLink. Проверка правильности проводимых измерений осуществлялась путём периодического замера $\delta^{13}\text{C}$ индивидуальных *n*-алканов состава C_{18} , C_{20} , C_{22} , C_{23} , C_{24} и C_{28} , изотопный состав которых был определён с использованием элементного анализатора. Стандартное отклонение $\delta^{13}\text{C}$ лабораторных стандартов состава C_{18} – C_{24} – менее 0.4 ‰, C_{28} – 0.6 ‰. При исследовании изотопного состава парафинов, выделенных из нефти, проводилось минимум три индивидуальных измерения. Среднее значение стандартного отклонения $\delta^{13}\text{C}$ индивидуальных *n*-алканов менее 0.6 ‰.

Результаты и их обсуждение

Всего для исследования было отобрано 5 образцов нефти из скважин Варандейская-1, Наульская-40, Тобойская-14, Лабоганская-76 и Мядсейская-46 [4]. Отобранные образцы имеют общие черты в составе алифатической фракции углеводородов, а именно сходный характер распределения *n*-алканов и изопреноидов (рис. 1), заключающийся в высоких кон-

Рис. 1. Хроматограммы углеводородных фракций нефтей. C (число) – *n*-алканы, Pr – пристан, Ph – фитан

Fig. 1. Chromatograms of hydrocarbon fractions of oils. C (number) – *n*-alkanes, Pr – pristane, Ph – phytane

центрациях низко- и среднемолекулярных *n*-алканов (среди которых резко доминируют углеводороды состава C_{17} и C_{19}), низких концентрациях *n*-алканов состава C_{20} и выше ($\text{C}_{20}+$), а также минимальных содержаниях изопреноидов [1, 4]. Ранее отмечалось, что такие черты распределения ациклических углеводородов присущи нефтям, образованным из органического вещества ордовикского возраста, сложенного остатками проблематичного организма – водоросли (?) *Gloeocapsomorpha prisca* [11, 12].

Изотопный состав углерода фракций изученных нами нефтей показал заметный разброс значений $\delta^{13}\text{C}$ во всех изученных фракциях (рис. 2). При этом наибольший разброс значений характерен для данных по $\delta^{13}\text{C}$ асфальтенов, а наименьший – для результатов измерения изотопного состава углерода насыщенной фракции. Средние данные по изотопному составу углерода фракций нефтей нижнего палеозоя можно сопоставить с ранее полученными по фракциям большого числа нефтей из отложений верхнедевонского комплекса (рис. 3) [2]. Из рис. 2 и 3 следует, что углерод фракций нижнепалеозойских нефтей содержит заметно больше лёгкого изотопа углерода по сравнению с нефтями из верхнедевонских резервуаров. Кроме того, для углерода фракций исследуемых нефтей, по сравнению с ранее изученными верхнедевонскими, характерна близость его изотопного состава в отличающихся по полярности фракциях (рис. 3).

Из графиков (рис. 4) следует, что углерод *n*-алканов исследуемых нефтей в основном имеет достаточно лёгкий изотопный состав, значения $\delta^{13}\text{C}$ отдельных алканов лежат преимущественно в интервале $-30.5 \div -32.0$ ‰. Для всех исследованных нефтей характерно в той или иной мере наблюдаемое облегчение углерода *n*-гептадекана по сравнению с соседними чётными алканами. Для *n*-алкана состава C_{19} изотопной аномалии не наблюдается. Сопоставление с ранее полученными данными по изотопному составу

Рис. 2. Распределение изотопов углерода во фракциях образцов нефти генотипа *G. prisca* Тимано-Печорского бассейна: 1 – Варандейская-1; 2 – Наульская-40; 3 – Тобойская-14; 4 – Лабоганская-76; 5 – Мядсейская-46; 6 – среднее для 5 исследованных нефтей

Fig. 2. Distribution of carbon isotopes in fractions of oil samples of *G. prisca* genotype of the Timan-Pechora basin: 1 – Varandeyevskaya-1; 2 – Naulskaaya-40; 3 – Toboyskaya-14; 4 – Labaganskaya-76; 5 – Myadseyskaya-46; 6 – average for 5 studied oils

Рис. 3. Распределение изотопов углерода во фракциях нефти: 1—4 — группы нефтей отложений верхнего девона Тимано-Печорского бассейна (Бушнев и др., 2017); 5 — среднее для 5 исследованных образцов нефти генотипа *G. prisca* Тимано-Печорского бассейна

Fig. 3. Distribution of carbon isotopes in oil fractions: 1—4 — groups of oils of Upper Devonian deposits of the Timan-Pechora basin (Bushnev et al., 2017); 5 — average for 5 studied oil samples of *G. prisca* genotype of the Timan-Pechora basin

Рис. 4. Изотопные профили *n*-алканов: 1 — Варандейская-1; 2 — Наульская-40; 3 — Тобойская-14; 4 — Лабаганская-76; 5 — Мядсейская-46; 6 — среднее для 5 исследованных нефтей

Fig. 4. Isotopic profiles of *n*-alkanes: 1 — Varandeyskaya-1; 2 — Naulskaya-40; 3 — Toboyskaya-14; 4 — Labaganskaya-76; 5 — Myadseyskaya-46; 6 — average for 5 studied oils

Рис. 5. Изотопные профили *n*-алканов: 1—5 — группы нефтей отложений верхнего девона Тимано-Печорского бассейна (Бушнев и др., 2017); 6 — среднее для 5 исследованных образцов нефти генотипа *G. prisca* Тимано-Печорского бассейна

Fig. 5. Isotopic profiles of *n*-alkanes: 1—5 — groups of Upper Devonian oils of the Timan-Pechora basin (Bushnev et al., 2017); 6 — average for 5 studied oil samples of *G. prisca* genotype of the Timan-Pechora basin

ву углерода *n*-алканов нефтей верхнедевонского комплекса (рис. 5) показало, что отличия от нефтей, образованных органическим веществом доманика, если и есть, то незначительные. Только данные по изотопному составу углерода алканов не позволят различить нефти этих двух комплексов.

Первые из опубликованных данных по изотопному составу алканов, генетически связанных с органическим веществом *G. prisca*, относились к битумоидам пород Иллинойского бассейна [7, 8]. Согласно этой работе, для формации Макуокета (свиты Гаттенберг и Дубик) характерно наличие битумоидов, в которых изотопный состав углерода *n*-алканов характеризуется утяжелением для нечётных гомологов состава C_{15} , C_{17} и C_{19} , причём для формации Гаттенберг углерод *n*-алканов вообще довольно сильно обогащён тяжёлым изотопом (рис. 6). Сходный характер распределения изотопов углерода наблюдается в *n*-алканах нефтей из ордовикских резервуаров Иллинойса и Индианы [7]. Судя по этим данным, нефти, продуцированные органическим веществом *G. prisca*, содержат *n*-алканы, углерод которых значительно обеднён ^{13}C по сравнению с материнским битумоидом. При этом изотопные сдвиги для $n-C_{17}$ и $n-C_{19}$ наследуются нефтью от исходного органического вещества.

Нефтематеринское органическое вещество ордовикского возраста, сложенное остатками *G. prisca*, характерно и для разреза бассейнов Каннинг и Амадеус

Рис. 6. Изотопные профили *n*-алканов: 1 — среднее для 5 исследованных образцов нефти генотипа *G. prisca* Тимано-Печорского бассейна; 2 — битумоид из пород ордовикского возраста с многочисленными остатками *G. prisca* из штата Айова (США), среднее по 3 образцам (Guthrie and Pratt, 1995); 3 — нефти из ордовикских резервуаров штата Иллинойс, среднее по 4 образцам (США, Guthrie and Pratt, 1995); 4 — битумоид из пород ордовикского возраста с многочисленными остатками *G. prisca* формации Coldwyer, среднее по 3 образцам (Австралия, Spaak et al., 2017); 5 — нефти из ордовикских резервуаров бассейна Canning (Австралия, Edwards et al., 2013, презентация), 3 образца нефти усреднены

Fig. 6. Isotopic profiles of *n*-alkanes: 1 — average for 5 studied oil samples of *G. prisca* genotype of the Timan-Pechora basin; 2 — bitumoid from Ordovician rocks with numerous *G. prisca* remains from Iowa (USA), average of 3 samples (Guthrie and Pratt, 1995); 3 — oil from Ordovician reservoirs of Illinois, average of 4 samples (USA, Guthrie and Pratt, 1995); 4 — bitumoid from Ordovician rocks with numerous remains of *G. prisca* of Coldwyer formation, average of 3 samples (Australia, Spaak et al., 2017); 5 — oil from Ordovician reservoirs of Canning basin (Australia, Edwards et al., 2013, presentation), 3 oil samples averaged

(Австралия). Здесь также были выполнены изотопные исследования углерода *n*-алканов битумоида пород [10] и нефтей, продуцированных таким типом ископаемого органического вещества [5, 9]. В битумоиде австралийского происхождения формации Goldwyer углерод *n*-алканов состава C_{17} и C_{19} обеднён тяжёлым изотопом по сравнению с углеродом соседних гомологов (рис. 5), такая же особенность распределения изотопов углерода наблюдается в нефтях бассейнов Каннинг и Амадеус (рис. 5). Г. Спак с соавторами [10] объясняет данную особенность распределения изотопов углерода в *n*-алканах тем, что *G. prisca*, являющаяся основным продуцентом органического вещества, использовала для фиксации углерода, изначально обеднённый ^{13}C -изотопом, вследствие его образования за счёт деятельности метанотрофов. Большая роль метанотрофов в ордовике бассейна Каннинг, по сравнению с ордовиком Иллинойского бассейна, подтверждается авторами по более значительной концентрации 3-метилгопанов по сравнению с 2-метилгопанами в битумоиде пород Австралийского бассейна.

Анализ данных по корреляционным парам нефть — битумоид для Иллинойса — Индианы (США) с одной стороны и бассейна Каннинг (Австралия) с другой свидетельствует об отсутствии единого изотопного признака нефтей и битумоида пород, связанных с органическим веществом водоросли *G. prisca*, при исследовании углерода индивидуальных *n*-алканов. Высказывалась точка зрения [10], что особенности изотопии углерода, генетически связанных с *G. prisca* *n*-алканов состава C_{17} и C_{19} , определяются изотопией ассимилируемого данной водорослью CO_2 . Данные по нефтям Тимано-Печорского бассейна при этом оказываются ближе как с точки зрения абсолютных значений $\delta^{13}C$ индивидуальных *n*-алканов, так и с точки зрения формы изотопного профиля углерода к данным по нефтям Австралии, чем к данным по нефтям США (рис. 6).

Заключение

Исследован изотопный состав углерода фракций нефти и индивидуальных *n*-алканов нефтей нижнего палеозоя северной части Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции, предположительно генетически связанных с ордовикским органическим веществом, сложенным остатком водоросли *G. prisca*. Показано, что на уровне изотопного состава фракций между нефтями из силурийско-нижнедевонских резервуаров и ранее изученными нефтями из отложений верхнего девона наблюдается контрастная разница. Углерод нижнепалеозойских нефтей значительно обеднён тяжёлым изотопом углерода по сравнению с верхнедевонскими. Кроме того, углерод отдельных фракций нижнепалеозойских нефтей имеет близкий изотопный состав.

Индивидуальные парафины изученных нефтей имеют изотопный состав углерода, мало отличимый от изотопного состава углерода фракции насыщенных углеводородов. Это и понятно: они составляют большую часть данной фракции. Состав *n*-алканов изученных нефтей характеризуется резким доминированием углеводородов состава C_{17} и C_{19} . Изучение изотопии углерода на индивидуальном уровне не позво-

лило установить значительных изотопных отличий данных соединений от других гомологов. Лишь для углеводорода состава C_{17} фиксируется не очень большое (до 0.4 ‰) облегчение углерода по сравнению с соседними чётными гомологами. Полученные результаты контрастно отличаются от опубликованных данных по *n*-алканам битумоида отложений, содержащих обильные остатки *G. prisca*, Иллинойского бассейна (США). Несколько большее сходство наблюдается между нефтями Печорского бассейна и нефтями бассейна Каннинг (Австралия).

Нефти нижнего палеозоя Тимано-Печорской провинции хорошо дифференцируются от нефтей верхнего девона по изотопному составу углерода и распределению изотопов углерода в отличающихся по полярности фракциях, а исследования изотопии углерода на индивидуальном уровне *n*-алканов не позволяют отличать нижнепалеозойские нефти от верхнедевонских.

Исследования выполнены в ЦКП «Геонаука».

Литература

1. Бушнев Д. А. Генетические особенности нефтей Варандей-Адзвинской зоны Печорского бассейна. Сыктывкар, 1998. 24 с. (Научные доклады / Коми научный центр УрО Российской академии наук; вып. 401).
2. 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. № 3—4. С. 410—422.
3. Бушнев Д. А., Бурдельная Н. С., Гончаров И. В., Самойленко В. В., Веклич М. А. Сопоставление органического вещества средневожских горючих сланцев Восточно-Европейской платформы и баженовской свиты по молекулярным и изотопным данным // Доклады Академии наук. 2018. Т. 480. № 2. С. 195—199.
4. Бушнев Д. А., Валяева О. В., Бурдельная Н. С. Биомаркеры нефтей нижнего палеозоя северной части Тимано-Печорского бассейна // Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН. 2018. № 4 (280). С. 45—48.
5. Edwards D. S., Boreham C. J., Chen J., Grosjean E., Mory A. J., Sohn J., Zumberge J. E. Stable carbon and hydrogen isotopic compositions of Paleozoic marine crude oils from the Canning Basin: comparison with other west Australian crude oils / In: Keep M., Moss S. (Eds.) The Sedimentary Basins of West Australia IV. Proceedings of the Petroleum Exploration Society of Australia Symposium. Perth, 2013. P. 1—13.
6. Galimov E. M. Isotope organic geochemistry // Organic Geochemistry. 2006. № 37. P. 1200—1262.
7. Guthrie J. M. and Pratt L. M. Geochemical character and origin of oils in Ordovician reservoir rock, Illinois and Indiana, USA // AAPG Bulletin. V. 79. № 11. (November 1995). P. 1631—1649.
8. Guthrie J. M. Molecular and carbene isotopic analysis of individual biological markers: evidence for source of organic matter and paleoenvironmental conditions in the Upper Ordovician Maquoketa Group, Illinois Basin, USA // Org. Geochem. 1996. Vol. 25. № 8. P. 339—360.
9. Jarrett A., Edwards D. S., Boreham C., McKirdy D. M. Petroleum geochemistry of the Amadeus Basin // AGES 2016 Conference Proceedings, NT Geological Survey. <http://geoscience.nt.gov.au/gemis/ntgsjsui/handle/1/82725>.
10. Spaak G., Edwards D. S., Foster C. B., Pagès A., Summons R. E., Sherwood N., Gricea K. Environmental conditions

and microbial community structure during the Great Ordovician Biodiversification Event; a multi-disciplinary study from the Canning Basin, Western Australia // *Global and Planetary Change*. 2017. № 159. P. 93–112.

11. Fowler M. G. The influence of *Gloeocapsomorpha prisca* on the Organic Geochemistry of Oils and Organic-Rich Rocks of Late Ordovician Age from Canada. // *Early Organic Evolution: Implication for Mineral and Energy Reservoirs*, 1992.

12. Reed J. D., Illich H. A., Horsfield B. Biochemical evolutionary significance of Ordovician oils and their sources. // *Org. Geochem.*, 1986. Vol. 10. P. 347–358.

References

1. Bushnev D. A. *Geneticheskie osobennosti neftei Varandey-Adz'vinskoi zony Pechorskogo basseina* (Genetic features of the oils of the Varandey-Adz'vinsky zone of the Pechora basin), Syktyvkar, 1998, 24 p. (Proceedings of Komi Science Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; issue 401).

2. Bushnev D. A., Burdelnaya N. S., Valyaeva O. V., Derevesnikova A. A. *Geokhimiya neftei pozdnego devona Timano-Pechorskogo basseina* (Geochemistry of oils of the Late Devonian of the Timan-Pechora basin). *Geology and Geophysics*, 2017, V. 58, No. 3–4, pp. 410–422.

3. Bushnev D. A., Burdelnaya N. S., Goncharov I. V., Samoilenko V. V., Veklich M. A. *Sopostavlenie organicheskogo veshchestva srednevolzhskikh goryuchih slantsev Vostochno-Evropeiskoi platformy i bazhenovskoi svity po molekulyarnym i izotopnym dannym* (Comparison of the organic matter of the Middle Volga oil shales of the East European Platform and the Bazhenov Formation based on molecular and isotopic data). *Doklady Earth Sciences*, 2018, V. 480, No. 2, pp. 195–199.

4. Bushnev D. A., Valyaeva O. V., Burdelnaya N. S. *Biomarkery neftei nizhnego paleozoya severnoi chasti Timano-Pechorskogo basseina* (Biomarkers of oils of Lower Paleozoic in the northern part of the Timan-Pechora basin). *Vestnik of*

Institute of Geology, UB RAS, 2018, No. 4 (280), pp. 45–48.

5. Edwards D. S., Boreham C. J., Chen J., Grosjean E., Mory A. J., Sohn J., Zumberge J. E. Stable carbon and hydrogen isotopic compositions of Paleozoic marine crude oils from the Canning Basin: comparison with other west Australian crude oils. In: Keep, M., Moss, S. (Eds.), *The Sedimentary Basins of West Australia IV. Proceedings of the Petroleum Exploration Society of Australia Symposium*, Perth, 2013, pp. 1–13.

6. Galimov E. M. Isotope organic geochemistry. *Organic Geochemistry* 37, 1200–1262, 2006.

7. Guthrie J. M. and Pratt L. M. Geochemical Character and Origin of Oils in Ordovician Reservoir Rock, Illinois and Indiana, USA. *AAPG Bulletin*, V. 79, No. 11 (November 1995), pp. 1631–1649.

8. Guthrie J. M. Molecular and carbene isotopic analysis of individual biological markers: evidence for source of organic matter and paleoenvironmental conditions in the Upper Ordovician Maquoketa Group, Illinois Basin, U.S.A. *Org. Geochem.* 1996, V. 25, No. 8, pp. 339–360.

9. Jarrett A., Edwards D. S., Boreham C., McKirdy D. M. Petroleum geochemistry of the Amadeus Basin. In: AGES 2016 Conference Proceedings, NT Geological Survey, 2016. <http://geoscience.nt.gov.au/gemis/ntgsjspui/handle/1/82725>.

10. Spaak G., Edwards D. S., Foster C. B., Pagès A., Summons R. E., Sherwood N., Gricea K. Environmental conditions and microbial community structure during the Great Ordovician Biodiversification Event; a multi-disciplinary study from the Canning Basin, Western Australia. *Global and Planetary Change* 159, 2017, pp. 93–112.

11. Fowler M. G. The influence of *Gloeocapsomorpha prisca* on the Organic Geochemistry of Oils and Organic-Rich Rocks of Late Ordovician Age from Canada. *Early Organic Evolution: Implication for Mineral and Energy Reservoirs*, 1992.

12. Reed J. D., Illich H. A., Horsfield B. Biochemical evolutionary significance of Ordovician oils and their sources. *Org. Geochem.*, 1986, V. 10, pp. 347–358.