

Н. В. Сенников^{1,2}, А. Н. Фомин^{1,2}*

Кратковременные эпизоды резкого повышения содержания органического углерода в лландоверийско-венлокском интервале силура Горного Алтая

¹ Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН,
г. Новосибирск, Российская Федерация

² Новосибирский национальный исследовательский государственный университет,
г. Новосибирск, Российская Федерация
*e-mail: sennikovnv@ipgg.sbras.ru

Аннотация. В одном из силурийских разрезов Горного Алтая, коррелируемых с гомерским ярусом венлокского отдела, в маломощной пачке “углеродисто-карбонатных” пород установлено высокое содержание органического углерода - 6,47 %. Высказано предположение, что формирование таких пород было связано с региональными, локально проявленными условиями.

Ключевые слова: силур, венлок, гомер, карбонатные породы, органическая геохимия, Горный Алтай

N. V. Sennikov^{1,2}, A. N. Fomin^{1,2}*

Short-term episodes of a sharp increase in the organic carbon content in the Llandovery-Wenlock Silurian interval of the Gorny Altai

¹Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Novosibirsk, Russian Federation

²Novosibirsk National Research State University, Novosibirsk, Russian Federation
*e-mail: SennikovNV@ipgg.sbras.ru

Abstract. It was determined the content of organic carbon to be 3.35% in black mudstones from of the one of the Silurian sections of the Gorny Altai, correlated with the terminal part of the Telichian Stage of the Llandovery Series. The high content of the organic carbon 6.47% was established in thin pack of carbonaceous-carbonate rocks from another of the Silurian sections of the Gorny Altai, correlated with the Homeric Stage of the Wenlockian Series. It was suggested that the formation of those rocks was associated with regional, locally manifested conditions.

Keywords: Silurian, Wenlock, Homeric, carbonates rocks, organic geochemistry, Gorny Altai

Введение

При палеогеографических реконструкциях раннепалеозойского этажа Западно-Сибирского осадочного нефтегазоперспективного бассейна седиментации для сравнения с окружающими геологическими регионами, наряду с Уралом и Казахстаном, часто используется западная часть Алтае-Саянской области, в том числе Горный Алтай. Высказывались предположения о наличии непрерывной полосы силурийского карбонатного, включая и рифогенное, осадконакопления от Алтая и Салаира до центральных районов Западной Сибири [1, 2, 3].

Материалы и методы

В проводимых ранее исследованиях по органической геохимии палеозойских осадочных последовательностей Горного Алтая [4, 5, 6] содержание органического углерода было определено в интервале от сотых до 3,58 % на породу. При этом, максимальные значения установлены в аргиллитах, а в карбонатах крайне низкие содержания $C_{\text{орг}}$ – от 0,04 до 0,13 % на породу.

В палеозойских отложениях южных и центральных районов Западно-Сибирского мегабассейна концентрации $C_{\text{орг}}$ более высокие – в глинистых породах в пределах 0,01-6,3 %, а в известняках 0,01-1,96 %. Но содержание органического углерода как в тех, так и в других породах обычно редко превышает 1,0 % на породу.

Максимальное содержание $C_{\text{орг}}$ на породу 3,38 % в палеозое на Горном Алтае [5] было установлено в Чарышско-Инской структурно-фациальной зоне (СФЗ) региона, во второй пачке (мощность 90 м) разреза «Шпиль», относимой к чесноковской свите, сопоставляемой по граптолитам зоны *grandis* с верхами телического яруса лландоверийского отдела силура [7]. Возраст границы телического и шейнвудского веков по современным представлениям [8] равняется 432,93 млн. лет.

Во многих осадочных последовательностях различных регионов мира на стратиграфическом уровне верхов телического яруса фиксируются следы глобального седиментационного (черно-сланцевого) события Иревикен (Ireviken) [8–12]. Это глобальное седиментационное событие маркируется резким изотопным сдвигом $\delta^{13}\text{C}$ и подъемом уровня мирового океана на 53 м [8, 11, 12].

В последние годы (2014-2020) при проведении био-литостратиграфического изучения силурийских терригенно-карбонатных и карбонатных разрезов Алтая был получен новый интересный материал по содержанию $C_{\text{орг}}$ на породу.

В стратотипе куимовской свиты в Чарышско-Инской СФЗ региона [13], в разрезе «Тигирек-береговой», в верхней части (пятая пачка разреза, мощность 0,1-0,15 м) первой подсвиты куимовской свиты, отвечающей верхам гомерского яруса венлокского отдела силура – возраст которой по современным представлениям [8] приблизительно 427 млн. лет, была отобрана проба из черных, тонкослоистых, глинистых известняков (до листоватых известковистых алевролитов). В этой пробе установлено содержание $C_{\text{орг}}$, равное 6,47 % на породу.

На стратиграфическом уровне верхов гомерского яруса реконструируется глобальное событие Мульде (Mulde) с пиком изотопного сдвига $\delta^{13}\text{C}$ [8]. Углеродное изотопное событие (CIE) Мульде (Mulde) стратиграфически строго «привязано» к интервалу граптолитовой зоны *parvus – passa*; конодонтовой зоны *Ozarkodina bohemica longa* [11, 12, 14–16]. В силурийских разрезах в Западной Европе (Тюрингия, Сардиния) фиксируется появление в верхах венлока маломощных сланцевых прослоев [17]. Примечательно, что такая маломощная (0,1-0,15 м) пачка черных известковистых алевролитов была установлена и на Горном Алтае в разрезе «Тигирек-береговой». Именно из образцов этой пачки при лабораторных исследованиях было получено высокое содержание $C_{\text{орг}}$ на породу –

6,47 %. С началом глобального события Мульде (Mulde) связывают пик регрессии, а с его окончанием пик трансгрессии с предполагаемым поднятием уровня мирового океана в 16 м [11, 12].

В отношении пород мало мощной 5-ой пачки алтайского гомерского разреза «Тигирек-береговой» с повышенным содержанием $S_{орг}$ на породу (6,47 %) следует отметить, что эти черные, тонкоплитчатые известняки (“углеродисто-карбонатные” породы), можно относить не к группе карбонатных, а к группе терригенных пород – к листоватым известковистым аргиллитам.

Авторы настоящего сообщения после обнаружения повышенного содержания $S_{орг}$ на породу на двух отмеченных выше стратиграфических силурийских уровнях на Горном Алтае заинтересовались возможностью интерпретации на алтайском силурийском материале прямой корреляционной связи повышенного содержания $S_{орг}$ на породу, с его стратиграфическим положением – то есть с интервалами, где проявлены масштабные, глобально прослеживаемые пики $\delta^{13}C$ [8]. При проверке этого предположения для сравнения нами на Алтае был выбран третий стратиграфический уровень – пограничный интервал лудловского и пржидольского отделов. На этом стратиграфическом уровне располагается событие Лау (Lau) с пиком изотопного сдвига $\delta^{13}C$ [8].

Под термином глобальное событие Лау (Lau) (граптолитовая зона *kozlowskii*), как правило, понимают событие биотического вымирания пелагических организмов – конодонтов и граптолитов [10, 18–21], реже смены бентосных организмов. В тоже время, несколько позднее события Лау (Lau) во многих регионах мира отмечаются крупные углеродная (CIE) и кислородная изотопные аномалии [8, 11, 12, 14, 20–23].

В России событие Лау (Lau) по смене комплексов брахиопод выявлено на Полярном Урале [24]. В уральских разрезах на этом стратиграфическом уровне фиксируется появление в разрезе аноксинных обстановок седиментации и повышение содержания $S_{орг}$ на породу от 1,27 % до 2,9 % [25]. В Баррандиене, в Пражском бассейне Чехии [14] на рассматриваемом средне-позднелудфордском уровне в разрезах появляется 0,25 м слой черных, глинистых известняков. Здесь следует отметить, что достаточно трудно разделять без использования зональной граптолитовой и (или) конодонтовой стратиграфии позднелудфордское глобальное событие Лау (Lau) и раннепржидольское глобальное событие Клев (Klev) [26]. Однако, именно с первым из этих событий (с событием Лау) большинство исследователей связывают проявление углеродной изотопной аномалии.

Учитывая перечисленные сведения, авторы настоящей статьи, как это уже упоминается выше, в качестве третьего алтайского сравнительного объекта выбрали разрез «Бурта-3» в Ануйско-Чуйской СФЗ региона [26]. В разрезе «Бурта-3» по конодонтовым комплексам была строго зафиксирована граница лудловского и пржидольского отделов силура [26], возраст которой по современным представлениям [8] равняется 422,73 млн. лет. Вблизи этой границы в рассматриваемом разрезе, из отличающихся по литологии 5-ти пачек, суммарной мощностью 36 м, были отобраны шесть проб: из 5-ой, 7-ой, 8-ой, из пограничного интервала 8-ой и 9-ой, из 9-ой и 10-ой). В карбонатных образцах Рентгенофлюо-

ресцентным спектрометром был определен диапазон изменения содержания: Са – от 49,374 до 63,754 %; Fe – от 0,03 до 0,096 %; Sr – от 0,125 до 1,061 %. Независимо от таких изменений содержания отмеченных элементов от одной пачки к другой, свидетельствующих о происходивших сменах обстановок седиментации, во всех образцах из разреза «Бурта-3» определено следующее низкое содержание $C_{орг}$ на породу, соответственно, 0,13 %; 0,06 %; 0,1 %; 0,11 %; 0,01%; 0,09 %. То есть, какого-либо увеличения содержания органического углерода в интервале глобального проявления изотопного сдвига $\delta^{13}C$ на алтайском материале пока не зафиксировано, хотя такой всплеск повышения содержания $C_{орг}$ на Урале имеется.

Заключение

Изложенное позволяет сделать предварительный вывод - выявленные повышенные пики содержания $C_{орг}$ на породу: 3,58 % в верхах теличского яруса лландоварийского отдела и 6,47 % в гомерском ярусе венлокского отдела силура Горного Алтая в значительной степени связаны с локальными свойствами бассейна седиментации (точнее, с комплексом физико-химических и биотических параметров двух небольших алтайских палеоакваторий), а не с какими-либо масштабными изменениями морской среды во время глобальных событий Ирвике (Ireviken) и Мульде (Mulde). В противном случае, если бы этот феномен был связан с отмеченными глобальными событиями, следовало ожидать появление в том же алтайском палеобассейне какого-либо увеличения (пика) содержания $C_{орг}$ на породу также и в верхах лудфордского яруса лудловского отдела на уровне третьего глобального события, именуемого Лау (Lau). Однако там, в рассматриваемом южно-сибирском палеобассейне, пока зафиксированы только стабильно низкие, фоновые содержания органического углерода.

Благодарности

Работа выполнена в рамках госзаданий РАН по Фундаментальным научным исследованиям (проекты FW ZZ-2022-0003, FW ZZ-2022-0011).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сенников Н.В., Елкин Е.А. Рифовые комплексы палеозоя Западной Сибири – потенциальные коллекторы углеводородов // Xinjiang Shiyou Dizhi - Xinjiang Petroleum Geology - Синьцзянская нефтяная геология, 2000. – Vol. 21, № 2. – С. 158–166.
2. Елкин Е.А., Конторович А.Э., Бахарев Н.К., Беляев С.Ю., Варламов А.И., Изох Н.Г., Каныгин А.В., Каштанов В.А., Кирда Н.П., Клец А.Г., Конторович В.А., Краснов В.И., Кригин В.А., Моисеев С.А., Обут О.Т., Сараев С.В., Сенников Н.В., Тищенко В.М., Филиппов Ю.Ф., Хоменко А.В., Хромых В.Г. Палеозойские фациальные мегазоны в структуре фундамента Западно-Сибирской геосинеклизы // Геология и геофизика, 2007. –Т. 48, № 6. – С. 633–650.
3. Елкин Е.А., Сенников Н.В., Бахарев Н.К., Беляев С.Ю., Изох Н.Г., Каныгин А.В., Клец А.Г., Конторович А.Э., Конторович В.А., Обут О.Т., Филиппов Ю.Ф. Основные черты современной структуры и история формирования докембрийско-палеозойского основания Западно-Сибирского осадочного бассейна // Фундамент, структуры обрамления Западно-Сибирского мезозойско-кайнозойского осадочного бассейна, их геодинамическая эволюция и проблемы

нефтегазоносности. Материалы Всероссийской научной конференции с участием иностранных ученых. — Тюмень-Новосибирск, 2008. — С. 75–80.

4. Фомин А.Н., Конторович А.Э., Данилова В.П., Костырева Е.А., Зубова Е.А. Геохимические предпосылки перспектив нефтегазоносности вендских и палеозойских отложений Алтайского края // Актуальные аспекты геологического изучения недр и воспроизводства минерально-сырьевой базы Алтайского края. Материалы научно-практической конференции. — Барнаул: Издательство Алтайского университета, 2004. — С. 50–57.

5. Сенников Н.В., Фомин А.Н., Данилова В.П., Иванова Е.Н., Конторович А.Э., Костырева Е.А. Геохимические критерии перспектив нефтегазоносности мезозойских, палеозойских и вендских отложений Степного Алтая и его горного обрамления // Геология и геофизика, 2005. — Т. 46, № 6. — С. 652–666.

6. Фомин А.Н. Сравнительная характеристика преобразованности органического вещества палеозойских отложений Алтайского края и смежных районов Западной Сибири в связи с оценкой перспектив их нефтегазоносности // Горные ведомости, 2005. — № 2. — С. 12–19.

7. Сенников Н.В., Обут О.Т., Изох Н.Г., Хабибулина Р.А., Родина О.А., Е.В. Лыкова Киприянова Т.П. Региональная стратиграфическая схема силурийских отложений западной части Алтае-Саянской складчатой области (новая версия) // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири, 2019а. — № 8с. — С. 69–105.

8. Gradstein F.M., Ogg J.G., Smith A.G., and Ogg G.M. The Geologic Time Scale 2020. Vol. 2. — Elsevier, 2020. — P. 563–1357.

9. Kaljo D., Boucot A.J., Corfield R.M., Le Herisse A., Koren T.N., Kriz J., Mannik P., Marss T., Nestor V., Shaver R.H., Siveter D.J., and Viira V. Silurian Bio-Events. Global Events and Event Stratigraphy in the Phanerozoic. — Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 1996. — P. 202–224.

10. Корень Т. Н., Модзалевская Т. Л., Абушик А.Ф., Соболевская Р.Ф., Суяркова А.А., Лопушинская Т.В., Куриленко А.В., Заика Ю.В. Силурийская система. Зональная стратиграфия фанерозоя России. — Санкт-Петербург: Изд-во ВСЕГЕИ, 2006. — С. 47–64.

11. Calner M. Silurian global events – at the tipping point of climate change. In: Ashraf M.T. Elewa (ed.): Mass extinctions. — Springer-Verlag, Berlin and Heidelberg, 2008. — P. 21–58.

12. Lehnert O., Männik P., Joachimski M.M., Calner M., and Frýda J. Paleoclimate perturbations before the Sheinwoodian glaciation: A trigger for extinctions during the 'Ireviken Event' // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 2010. — Vol. 296. — P. 320–331.

13. Сенников Н.В., Хабибулина Р.А., Обут О.Т., Новожилова Н.В., Токарев Д.А., Лучинина В.А. Терригенно-карбонатный тип седиментации в силуре Горного Алтая: строение, фациальные особенности, фаунистические комплексы и стратиграфическое положение // Геология и геофизика, 2019. — Т. 60, № 4. — С. 532–554.

14. Lehnert O., Eriksson M.J., Calner M., Joachimski M., and Buggisch, W. Concurrent sedimentary and isotopic indications for global climatic cooling in the Late Silurian // Acta Palaeontologica Sinica, 2007. — Vol. 46. — P. 249–255.

15. Jarochovska E., Munnecke A., and Kozlowski W. The record of the middle Silurian Mulde Event in Podolia, Western Ukraine // Proceeding of the 3rd IGCP 591 Annual Meeting. — Lund, 2013. — P. 144–145.

16. Castagner A, Jarochovska E., Munnecke A., and Desrochers A. Ultrastructures of porostromate microproblematica from a Mulde Event (Homerian, Silurian) bioherm in Podolia, Western Ukraine // Estonian Journal of Earth Sciences, 2015. — Vol. 64, № 1. — P. 24–30.

17. Jaeger H. Neue Standart-Graptolithenzonenfolge nach der «Grosen Krise» an der Wenlock/Ludlow-Grense (Silur) // Neues. Journ. Geol. Palaontol. Abhandl., 1991. — Vol. 182, N 3. — P. 303–354.

18. Urbanek A. Biotic crises in the history of Upper Silurian graptoloids: A Palaeobiological model // *Historical Biology. An International Journal of Paleobiology*, 1993. – Vol. 7, № 1. – P. 29–50.
19. Storch P. Biotic crises and post-crisis recoveries recorded by Silurian planktonic graptolite faunas of the Barrandian area (Czech Republic) // *Geolines*, 1995. – N 3. – P. 59–70.
20. Slavik L., and Carls P. Post-Lau Event (Late Ludfordian, Silurian) recovery of conodont faunas of Bohemia // *Bulletin of Geosciences*, 2012. – Vol. 87, N 4. – P. 815–832.
21. Slavik L., Storch P., Manda S., and Fryda J. Integrated stratigraphy of the Ludfordian in the Prague Synform // *GFF*, 2014. – Vol. 136, No 1. – P. 238–242.
22. Munnecke A., Calner M., Harper D.T., and Servais T. Ordovician and Silurian sea-water chemistry, sea level, and climate: A synopsis // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2010. – Vol. 296. – P. 389–413.
23. Cramer B.D., Brett C.E., Melchin M.J., Mannik P., Kleffner M.A., Mclaughlin P.I., Loydell D.K., Munnecke A., Jeppsson L., Corradini C.R., Brunton F.R., and Saltzman M.R. Revised correlation of Silurian Provincial Series of North America with global and regional chronostratigraphic units and $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ chemostratigraphy // *Lethaia*, 2011. – Vol. 44. – P. 185–202.
24. Модзалевская Т.Л. Среднелудфордское событие в эволюции силурийских брахиопод Европейской провинции // *Стратиграфия. Геологическая корреляция*, 1997. – Т. 5, №3. – С. 3–9.
25. Антошкина А.И. Проявление лудфордского события Лау (верхний силур) на северо-востоке Европейской части России // *Стратиграфия. Геологическая корреляция*, 2018. – Т. 26, № 6. – С. 15–40.
26. Сенников Н.В., Новожилова Н.В., Обут О.Т., Хабибулина Р.А. Строение и биостратиграфическая характеристика пржидольского отдела силура на Горном Алтае // *Геология и геофизика*, 2021. – Т. 62, № 11. – С. 1546–1565.

© Н. В. Сенников, А. Н. Фомин, 2024