

15. Кулешов В.Н., Седаева К.М. Геохимия изотопов (^{13}C , ^{18}O) и условия образования верхнеказанских карбонатных отложений Волго-Вятского междуречья // Литология и полезные ископаемые, 2009. № 5. С. 508–526.
16. Маслов В.П. Строматолиты // Труды ГИН АН СССР. 1960. Вып. 41. 188 с.
17. Махнач А.А., Кулешов В.Н., Виноградов В.И., Буякайте М.И., Покровский Б.Г., Петрова Н.С., Антипенко С.В., Мурашко О.В. Изотопный состав углерода, кислорода и серы в карбонатных и сульфатных образованиях фаменской калиеносной субформации Припятского прогиба // Литология и полезные ископаемые. 2013. № 4. С. 366–382.
18. Махнач А.А., Михайлов Н.Д., Шиманович В.М., Колосов И.Л. Геохимия изотопов углерода и кислорода карбонатного вещества в бассейнах галогенеза (на примере Припятского прогиба) // Геохимия. 1995. № 5. С. 652–663.
19. Международный конгресс «Пермская система земного шара». Путеводитель геологических экскурсий / Под ред. Б.И. Чувашова. Свердловск: УрО РАН, 1991. 153 с.
20. Наугольных С.В. Стратотип кунгурского яруса и его корреляционный потенциал // Биота Востока Европейской России на рубеже ранней и поздней перми: мат. к Международному симпозиуму «Верхнепермские стратотипы Поволжья». М.: ГЕОС, 1998. С. 19–33.
21. Оборин А.А. Типы осадочных формаций нижнепермских отложений Сыктывкарской депрессии и прилегающей части Русской платформы // Геология и нефтегазоносность Пермского Прикамья и прилегающих районов: труды ВНИГНИ. Вып. XLVI. Москва: Недра, 1965. С. 177–184.
22. Оборин А.А., Хурсик В.З. Литофации нижнепермских отложений пермского Предуралья // Труды ВНИГНИ (Камское отделение). Пермь: Перм. книж. изд-во, 1973. Вып. 118. С. 151–183.
23. Сигов А.П. Металлогения мезозоя и кайнозоя Урала. М.: Недра, 1969. 296 с.
24. Силаев В.И., Хазов А.Ф. Изотопное диспропорционирование карбонатного углерода в процессах гипергенно-экзогенной перегруппировки вещества земной коры. Сыктывкар: Геопринт, 2003. 41 с.
25. Силантьев В.В. Уфимский ярус. Соликамский горизонт // Биота Востока Европейской России на рубеже ранней и поздней перми: мат. к Международному симпозиуму «Верхнепермские стратотипы Поволжья». М.: ГЕОС, 1998. С. 37–54.
26. Сонин Г.В., Калинина Т.А., Осин Ю.Н., Воробьев В.В. Стеночные строматолиты соликамского горизонта Пермского Приуралья и их происхождение // Современные концепции научных исследований: мат-лы XII Междунар. конф.-и. Москва, 2015. с.141–147.
27. Сонненфелд П. Рассолы и эвапориты. М.: Мир, 1988. 480 с.
28. Сорфроничий П.А. О границе между соликамским и иренским горизонтами в Пермском Приуралье // Вестник Перм. ун-та. Геология. 1994. Вып. 3. С. 3–9.
29. Сунгатуллин З.Х., Кулешов В.Н., Кадыров Р.И. Изотопный состав (^{13}C и ^{18}O) доломитов из пермских эвапоритовых толщ востока Русской плиты (на примере Сюкеевского месторождения гипса) // Литология и полезные ископаемые, 2014. № 5. С. 432–442.
30. Хасанов Р.Р., Балабанов Ю.П. Палеогеография Восточно-Европейской платформы на рубеже перми и триаса // Палеозой России. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2012. С. 254–256.
31. Чайковский И.И., Кадебская О.И., Чиркова Е.П. О гипергенной природе флюоритового оруденения Казанской горы // Природные ресурсы: Вестник недропользователя Пермского края. Пермь, 2010. № 2 (29). С. 83–91.
32. Чувашов Б.И. Кунгурский ярус пермской системы (проблемы выделения и корреляции) // Стратиграфия. Геол. Корреляция. 1997. Т. 56. Вып. 27. С. 89–101.
33. Чувашов Б.И., Черных В.В. Филипповский карьер // Геологические памятники Пермского края: энциклопедия / Горный институт УрО РАН. Пермь: Книжная площадь, 2009. С. 123–128.
34. Шрейбер Б.Ш., Такер М.Е., Тилла Р. Побережья аридных зон и эвапориты // Обстановки осадконакопления и фации: в 2-х т. Т.1.: Пер. с англ. М.: Мир, 1990. С. 232–279.
35. Below A. Fazies und Geochemische Diagenesestudie im Zechstein 2 Karbonat (Ca₂) Nordwestdeutschlands // Berichte Reports Geol. Palaont Inst., 1992. Vol. 60. P. 147.
36. Botz R., Muller G. Geochemical Investigations of Upper Permian (Zechstein) Carbonates and Associated Organic Matter in the NW-German Basin // Chem. Erde. 1987. V. 46. P. 131–143.
37. Came R.E. et al. Coupling of surface temperatures and atmospheric CO₂ concentrations during the Palaeozoic Era // Nature. 2007. V. 449. P. 198–201.
38. Clark D.N. The diagenesis of Zechstein carbonate sediments // The Zechstein Basin with Emphasis on Carbonate Sequences. Contributions to Sedimentology. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 1980. № 9. P. 167–203.
39. Friedman J., O'Neil Y.R. Compilation of stable Isotope Fractionation Factors of Geochemical Interest // US Geol. Surv. Prof. Par. N 440-KK. Wash.: (D.C.) Gov. Print. Off., 1977. 110 p.
40. Hudson J.D. Stable isotopes and limestone lithification // Journal of the Geological Society of London. 1977. № 133. P. 637–660.
41. Hussain M. Nodular and enterolithic gypsum: the «Sabkhatization» of Salt flat playa, West Texas/ M. Hussain, J.K. Warren // Sedimentary geology. 1989. V. 64. P. 13–24. 40.
42. Kinsman B. Wind Waves. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall, 1965. 676 p.
43. Macdonald G.S. Anhydrite-gypsum equilibrium relationships // American Journal of Science. 1953. № 251 (12). P. 884–898.
44. O'Neil J.R., Clayton R.N., Mayeda T.K. Oxygen isotope fractionation in divalent metal carbonates // J. Chem Physics, 1969. V. 51. P. 5547–5558.
45. Van Driessche A.E.S. Benning L.G., Rodriguez-Blanco J.D. et al. The role and implications of bassanite as a stable precursor phase to gypsum precipitation // Science. 2012. V. 336 (6077). P. 69–72.
46. Veizer J. et al. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, ^{13}C and ^{18}O evolution of Phanerozoic seawater // Chemical Geology. Elsevier, 1999. V.161. P. 59–88.
47. Vinogradov V.I., Belenitskaya G.A., Bujakaite M.I., Kuleshov V.N., Minaeva M.A., Pokrovskii B.G. Isotopic signatures of deposition and transformation of Lower Cambrian Saliferous Rocks in the Irkutsk Amphitheater: Communication 3. Carbon and Oxygen Isotopic Compositions in Carbonates // Lithology and Mineral Resources. 2006. Vol. 41. № 3. P. 271–279.
48. Warren J.K. The hydrological setting, occurrence and significance of gypsum in late Quaternary salt lakes in South Australia // Sedimentology. 1982. № 29. P. 609–638.

УДК 551. 3.051

ЭВОЛЮЦИЯ РАСТЕНИЙ-УГЛЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ И ФЛОРИСТИЧЕСКАЯ ВОССТАНОВЛЕННОСТЬ ВЕРХНЕПАЛЕОЗОЙСКИХ УГЛЕЙ

В.П. ИВАНОВ

*Институт природных ресурсов ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский
Томский политехнический университет»
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30; e-mail: ivp2005@mail.ru*

Флористическое сходство угленосных отложений Донецкого, Карагандинского, Кузнецкого и Печорского бассейнов обусловлено эволюцией растений-углеобразователей верхнего палеозоя и отражается в петрографическом составе углей. Растительная масса торфяников с повышенным содержанием белков и липидов

становится причиной возникновения флористической восстановленности ($P_{вфл}$) под влиянием климатических, палеогеографических факторов и эволюции растений. Доказано, что особенности седиментогенеза углей разных бассейнов лучше раскрывают показатели P_g (степень гелификации угля) и $P_{вфл}$ (степень восстановленности угля), чем показатели петрографического состава.

Ключевые слова: флористическая восстановленность; литофациальная восстановленность; гелификация углей; растения-углеобразователи; гелифицированная масса угля; петрографический состав; спорово-пыльцевой метод.

EVOLUTION OF COAL-FORMING PLANTS AND FLORISTIC RESTORABILITY OF UPPER PALEOZOIC COALS

V.P. IVANOV

*National Research Tomsk Polytechnic University,
634050, Russia, Tomsk, Lenin avenue, 30; e-mail: ivp2005@mail.ru*

The floristic similarity of coal-bearing deposits of Donetsk, Karaganda, Pechora and Kuznetsk basins is caused by evolution of coal-forming plants of upper Paleozoic and is reflected in the petrographic composition of coals. Plant mass of peat bogs with high content of proteins and lipids become the cause of floristic restorability ($Prfl$) under the influence of climatic, paleogeographic factors and the evolution of plants. Indicators P_g (degree of coal gelification) and $Prfl$ (degree of coal restorability) are proved to reveal features of sedimentogenesis of different coals basins better than petrographic composition indexes do.

Key words: floristic restorability; lithofacial restorability; gelification of coals; coal-forming plants; gelified coal mass; petrographic composition; spore-pollen method.

Современное понимание восстановленности углей сформулировано в стандарте [10]: восстановленность — это различие углей одинаковой стадии метаморфизма и петрографического состава по химическим, физическим и технологическим свойствам, обусловленное особенностями исходной растительности и условиями превращения на начальных стадиях углеобразования.

В.И. Вялов в научном труде об основных закономерностях углеобразования [7] характеризует восстановленность углей как «условный термин, обозначающий существенное различие изометаморфных углей» и отмечает неизученность её образования и связанный с ней комплекс не решённых вопросов по петрологии и углехимии горючих ископаемых. К такому же выводу приходили Я.М. Черноусов [28], изучая угли Донбасса, и А.С. Арцер [3] при всестороннем исследовании углей Кузбасса, особенно углей кольчугинской серии верхнепермских отложений.

Авторы [14], обобщая многочисленные исследования по восстановленности углей разных бассейнов, резюмируют, что восстановленность углей — суммарное действие первичных факторов: исходного растительного материала, условий его накопления и преобразования и геохимии среды. П.П. Тимофеев в [25] акцентирует внимание на том, что на образование восстановленных углей, петрографически различающихся структурой гелифицированного вещества, влияла скорость захоронения торфогенного слоя, а именно прерывание процесса гелификации или гумификации, когда

происходило превращение растительных тканей в гель, считает И.Б. Волкова [6].

Скорость опускания торфяника — это скорость изменения фациальной обстановки: степени и скорости обводнения торфяника, минерального состава вод, определяющих экологический состав растений-торфообразователей [5], а поэтому восстановленные угли приурочены к лагунно-морским или аллювиально-лагунно-морским типам фациально-геотектонических ритмов осадконакопления.

Итак, в геологическом аспекте восстановленность углей — это результат неравномерного тектонического погружения осадков (циклогенез) в области седиментогенеза, обуславливающий возникновение особых условий в процессе гелификации растительных тканей: специфический состав флоры, геохимический состав среды и обводнённость болота.

Авторы [16], изучая причины возникновения восстановленности в угленосных отложениях Кузнецкого бассейна (C_1-P_2) при сопоставлении геолого-биохимических факторов торфогенеза с петрографическим составом и восстановленностью углей, обнаружили различное происхождение восстановленности. Они установили, что в стратиграфическом разрезе бассейна происходит однонаправленное изменение петрографического состава и степени восстановленности углей, обусловленное эволюцией растений, которая выделена как флористическая восстановленность. По мнению авторов [16], геодинамические условия возникновения

фаций углеобразования в отдельном цикле осадочного комплекса способствовали проявлению литофациальной восстановленности, которая была обнаружена В.В. Видавским в изометаморфных углях одинакового петрографического состава в Донбассе [4].

Поиск общих признаков образования восстановленности в углях верхнего палеозоя разных бассейнов, оценка её связи с петрографическим составом и определил цель данного исследования.

Рассматривая распространение пластов разного типа на территории России и изменение состава углей, И.Б. Волкова [6] приходит к выводу, что в основном это происходило под влиянием эволюции растений-углеобразователей, смены торфообразующих фитоценозов и условий накопления. Меньшую роль играли факторы: геодинамическая обстановка (тип бассейна), фациальные и геохимические условия накопления осадочной толщи. Но в [23, 24] отмечено, что близкие по петрографическому составу изометаморфные угли Донбасса более восстановленные, чем угли Кузбасса, а это разные по седиментогенезу угленосных отложений бассейны.

Авторы [15] при создании марочной классификации углей [11] придерживались точки зрения, что восстановленность — это следствие неодинакового исходного материала и химического характера превращения растительных остатков на торфяной стадии процесса углеобразования. Они провели деление углей разных стадий метаморфизма по восстановленности относительно суммы фюзенизированных компонентов — ОК (отошающие компоненты). Несомненно, данный показатель отражает косвенно степень гелификации угольного вещества, но в петрографическом составе она учитывается через гелитолитовые мацералы группы витринита (Vt) и некоторые исследователи для отражения особенностей «преобразования органического вещества — стадии геохимической гелификации», используют отношение Vt/F [15].

Результаты сопоставления содержания витринита (Vt) в углях с показателями $Pv_{фл}$ (флористическая восстановленность) по свитам и $Pv_{л-ф}$ (литофациальная восстановленность) по пластам показали правильность подхода при распознавании седиментогенеза гелифицированных компонентов и восстановленности углей [17, 18]. Однако там же было установлено, что оценивать восстановленность и гелификацию необходимо комплексным методом через сопоставимые показатели.

На это обращает внимание С.Г. Гагарин [8], анализируя проблему восстановленности углей из разных бассейнов, в том числе Донецкого, Печорского, Кузнецкого и Карагандинского. Он приводит данные сравнения показателей R_0 , $Vt + L$, у с типами углей по восстановленности, из которого следует, что сильно восстановленные угли присут-

ствуют в Донецком, Кузнецком, Карагандинском и Печорском бассейнах, слабо восстановленные — во всех, за исключением Кузбасса, и предлагает комплексный показатель оценки восстановленности углей [9].

Рассмотрим основные геолого-генетические факторы, способствующие образованию восстановленности углей в разных бассейнах, выделим главные предпосылки и причины возникновения процесса восстановленности и оценим характер связи между восстановленностью и гелификацией в угленосных отложениях разного возраста.

Такое сравнение хорошо проводить на примере изученных угленосных отложений Донецкого, Карагандинского, Кузнецкого и Печорского бассейнов, которые имеют флористическое сходство [12, 20, 21], установленное спорово-пыльцевым анализом. По этому признаку авторы [21, 22] констатируют сходство угленосных отложений в нижнем карбоне Донбасса, Кузбасса и Карагандинского бассейна. В среднем карбоне — между отложениями карагандинской и алыкаевской свит, надкарагандинской свиты и ишаново-промежуточной толщи в Карагандинском и Кузнецком бассейнах соответственно; в верхнем карбоне — между отложениями Донбасса и тентекской свиты Карагандинского бассейна. Сходство фитоценозов Печорского бассейна и ерунаковской подсерии Кузнецкого бассейна отмечала Х.Р. Домбровская, проводя флористический анализ пермских отложений [12].

Рассматривать изменение состава палеофлоры и её эволюцию следует с позиций климатической зональности, а угленосные отложения бассейнов — как узлы угленакопления, которые во временном и пространственном распространении представляют пояса угленакопления.

В верхнем палеозое авторы [26] выделяют нижнекарбоновую (C_1), средне-верхнекарбоновую (C_2-C_3) и пермскую (Р) эпохи угленакопления. Опираясь на параллелизацию свит бассейнов и флористические признаки отложений нижнего карбона Донецкой провинции. В [13] увязана климатическая зональность углеобразующей растительности с зональным различием углей: образование донецких углей проходило в экваториальной зоне, а карагандинских — в северной гумидной зоне. Сделано предположение, что степень восстановленности в какой-то мере зависит от климатической зональности, которая влияла на активность и глубину аэробного разложения торфогенного слоя, и проявление восстановленности свойственно экваториальным и тропическим зонам [13].

Есть другая точка зрения. В.М. Цейслер [29] предлагает проводить деление поясов угленакопления по крупным ритмо-комплексам и его частям, которые учитывают изменение климата, эпох трансгрессий и регрессий: в Евразии по ним в верхнем палеозое он выделяет комплексы — нижний

карбонный, средний—верхний карбонный, нижний и верхний в перми. Климатическая обстановка сменялась относительно быстро и временные интервалы не совпадают с эпохами геохронологической шкалы, считает автор.

Учитывая изложенное, проведено наблюдение стадийности эволюции растений углеобразователей и изменения экологической обстановки в разные геологические периоды углеобразования с помощью спектральных показателей: $P_{\text{вфл}}$ (флористической восстановленности) и $P_{\text{г}}$ (гелификации). Показатель гелификации представляет собой отношение спектральных показателей $P_{\text{вфл+л}}$ и $P_{\text{л}}$ в виде уравнения:

$$P_{\text{г}} = P_{\text{вфл+л}} / P_{\text{л}}, \quad (1)$$

характеризующего структурные особенности молекулярного строения мацералов групп витринита+липтинита и инертинита [19]. Именно в этом сочетании рассматривается степень гелификации углей, так как витринит изменяется под влиянием восстановленности и на это обратили внимание И.И. Аммосов и И.В. Ерёмин [2], применяя отношение $СК / ОК$ при оценке коксуетности углей.

Восстановленность, в понимании автора, — возникновение геохимических условий в процессе гелификации торфяников, которые приводят к замедлению биохимического преобразования органического вещества растительных тканей в гелифицированном веществе на стадии их превращения из коллоидного состояния в гель.

Одним из факторов замедления процесса гелификации является различная биохимическая устойчивость растительных тканей. Наиболее устойчивыми (по Ваксману) являются липиды (воск и смола), менее устойчивыми — белки. Было установлено, что зависимость содержания витринита (V_i), степени восстановленности ($P_{\text{в}}$) и гелификации ($P_{\text{г}}$) от содержания белков и липидов разная. Изменение содержания витринита выражено в виде полинома, а показатели $P_{\text{в}}$ и $P_{\text{г}}$ изменяются линейно и однонаправленно (рис. 1), т. е. со-

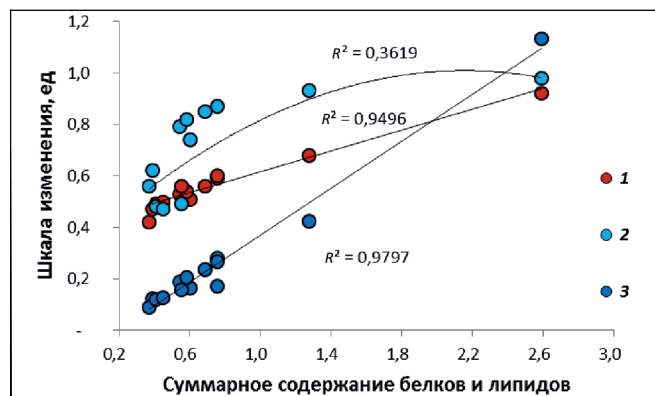


Рис. 1. Зависимость содержания витринита, степени восстановленности и гелификации от содержания белков и липидов в торфяниках: 1 — восстановленность, $P_{\text{в}}$, ед.; 2 — витринит, V_i , ед. (100-кратное уменьшение); 3 — гелификация, $P_{\text{г}}$, ед. (10-крат-

став растительных тканей опосредованно влияет на количество гелифицированных компонентов.

Сравнение показателей $СК/ОК$, $P_{\text{г}}$ и $P_{\text{в}}$ на примере кузнецких угленосных отложений показало ограниченные возможности петрографического метода, что видно на графиках (рис. 2).

При обобщении результатов (около 300 проб) зависимость структурного показателя гелификации ($P_{\text{г}}$) от петрографического показателя ($СК/ОК$) имеет вид:

$$y = 0,3274x - 0,4491, \quad (2)$$

с коэффициентом $R^2 = 0,95$.

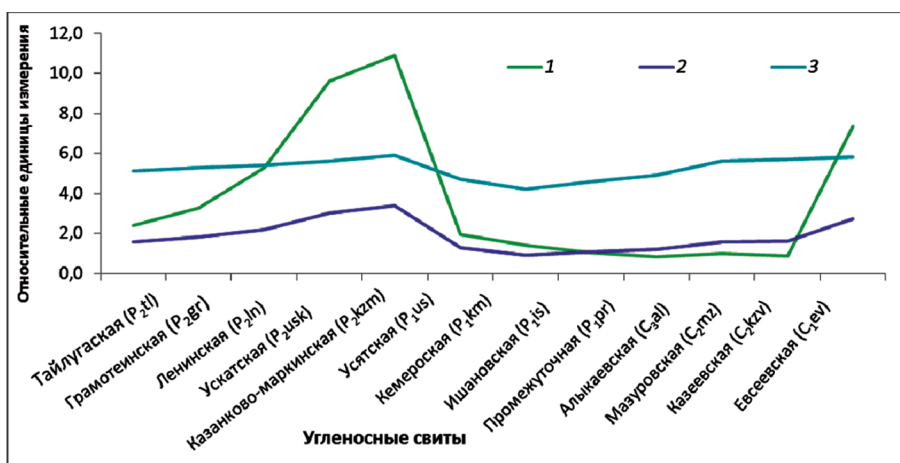
Связь структурных показателей гелификации ($P_{\text{г}}$) и восстановленности ($P_{\text{в}}$):

$$y = 10,461x - 3,4559 \quad (3)$$

отмечалась только в невосстановленных углях на уровне 61 %, в восстановленных углях она отсутствует.

Чтобы получить усреднённый показатель гелификации ($P_{\text{гср}}$), учитывающий петрографические особенности образования мацералов и структурные особенности, связанные с восстановленностью углей, по уравнениям (2) и (3) были определены по-

Рис. 2. Изменение петрографического состава, гелификации и восстановленности в угленосных отложениях свит Кузнецкого бассейна в разные периоды угленакопления: 1 — петрографический показатель гелификации, $СК/ОК$; 2 — структурный показатель гелификации, $P_{\text{г}}$; 3 — степень восстановленности, $P_{\text{в}}$ (10-кратное увеличение)



казатели гелификации $Пг_n$ (петрографический) и $Пг_c$ (структурный). Сравнение усреднённого показателя $Пг_{cp}$ с петрографическим показателем (СК/ОК) показало, что связь между ними имеет вид:

$$y = 0,2113x + 1,0518, \quad (4)$$

при $R^2 = 0,92$ ед. Стандартное отклонение между фактическими (1) и расчётными (4) значениями показателя $Пг$ составило 0,22 ед., что удовлетворяет минимальному значению воспроизводимости (4 %) петрографического метода.

Таким образом, между показателями $Пв$ и $Пг$ была установлена нелинейная связь в виде уравнения:

$$y = 0,041x^2 + 0,2293x + 0,2627, \quad (5)$$

с коэффициентом $R^2 = 0,81$.

Уравнение (5) отражает особенность проявления восстановленности в процессе гелификации растительной массы. По мере повышения содержания белков и липидов, как видно из графиков (рис. 1), наступает момент, когда их преобладание начинает влиять на качественное образование гелифицированного вещества в виде структурного (телинит) и бесструктурного (коллинит) мацералов группы витринита.

За счёт повышения количества белков и липидов в водной среде увеличивается содержание азота и углеводов с длиной цепью, главным образом H -алканов [27], т. е. ненасыщенных кислот, способствующих получению новых веществ ненасыщенного характера [20]. Отметим, именно число ненасыщенных связей в молекулярной структуре мацералов $Vt+L$ обуславливает повышенную битуминозность восстановленных углей, а это один из отличительных признаков восстановленности углей.

По сути следует рассматривать влияние состава фитоценозов на интенсивность биохимического превращения тканей растений в гелифицированное вещество углей на стадии торфогенеза. Вероятно, эту особенность образования восстановленности попытались отразить создатели промышленно-генетической классификации углей [11], опираясь на спекаемость.

Биохимическое превращение растительной массы в гелеобразную проходит три этапа: распад в аэробной среде растительных тканей, образование коллоидных растворов и их преобразование в анаэробной среде в гелеобразную массу. Именно интенсивность преобразования коллоидного раствора в гель, по мнению автора, обуславливается биохимической устойчивостью растительных тканей, которая проявляется флористической восстановленностью, поэтому её воздействие на гумификацию коллоида можно представить в виде произведения показателей $Пв_{фл}$ $Пг$.

В связи с этим, возникает необходимость ввода нового критерия — индекса ГМУ, который определяется по формуле:

$$I_{ГМУ} = Пв_{фл} Пг, \quad (6)$$

где параметр $I_{ГМУ}$ — степень преобразования коллоидного раствора в гелифицированную массу или степень гумификации коллоидов.

Это позволяет провести сравнение между количеством гелифицированных компонентов, представленных в основном витринитом (Vt), и степенью гумификации массы в виде индекса ГМУ ($I_{ГМУ}$). На основе данных по петрографическому составу углей Донецкого, Карагандинского, Кузнецкого и Печорского бассейнов [11] сделан сравнительный анализ значений показателей Vt и $I_{ГМУ}$ (рис. 3).

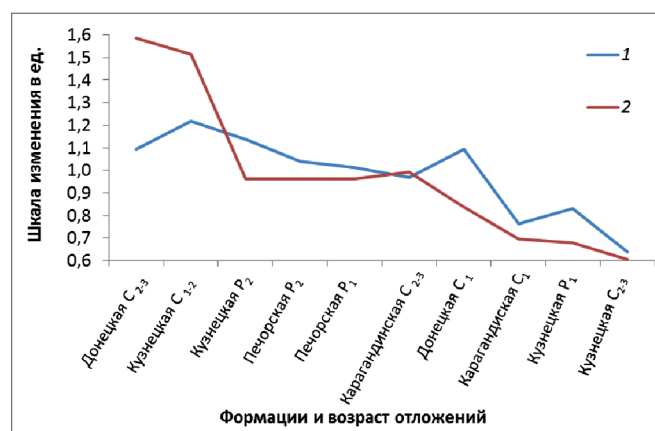


Рис. 3. Изменение степени гумификации массы и содержания гелифицированных компонентов в угленосных отложениях в разные периоды угленакопления в формациях: 1 — содержание витринита, Vt ; 2 — степень ГМУ, $I_{ГМУ}$

Из графиков Vt и $I_{ГМУ}$ следует, что интенсивность гумификации органического вещества в угленосных отложениях в разные периоды угленакопления проявлялась по-разному, независимо от типа бассейна.

В среднем и верхнем карбоне Донбасса и раннем и среднем карбоне Кузбасса условия способствовали максимальному влиянию флористической восстановленности на гелификацию органической массы при формировании угленосных отложений.

В угленосных отложениях среднего—верхнего карбона Карагандинского бассейна, в пермских отложениях Печорского и в верхнепермских отложениях Кузнецкого бассейнов влияние восстановленности ослабевает. В раннем карбоне в Донецком, Карагандинском и в перми в Кузнецком бассейнах флористическая восстановленность исчезает, но при этом увеличивается количество гелифицированной массы.

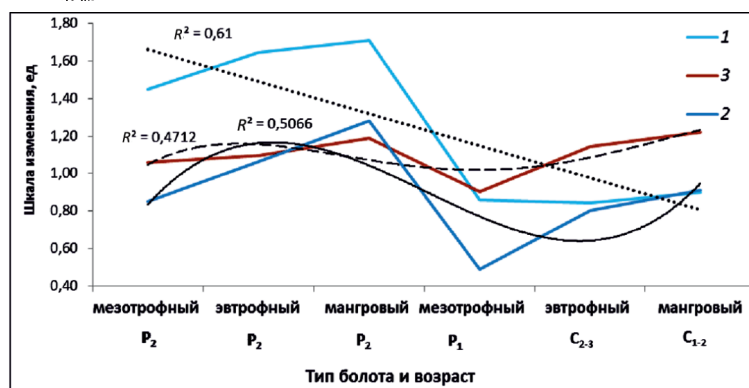


Рис. 4. Изменение содержания витринита, степени гелификации и восстановленности в зависимости от типа болот верхнего палеозоя: 1 — витринит, I_i (50-кратное уменьшение); 2 — гелификация, Пг; 3 — восстановленность, Пв (2-кратное увеличение)

Эта стадийность указывает на близкое сочетание палеогеографических и палеоклиматических условий в разных узлах угленакопления, которые влияли на формирование однотипных болот. Однако, как показали результаты сопоставления показателей I_i , Пг, Пв_{фл} с типами болот верхнего палеозоя, происхождение флористической восстановленности обусловлено эволюцией растений-углеобразователей во время угленакопления (рис. 4).

Указанные показатели изменяются однонаправленно, при этом характер изменения содержания витринита (I_i) линейный, а показателя гелификации (Пг) — в виде полинома. В интервале болот возраста P_1 — C_1 графики не совпадают, как не совпадают в этом же интервале тренды изменения показателей Пг и Пв_{фл}, а также графики в интервале верхнепермских болот.

В мангровых болотах в раннем карбоне флористическая восстановленность проявлялась максимально, что подтверждают наблюдения в [13], практически отсутствовала в мезотрофных болотах в ранней перми. Восстановленность проявлялась в и эвтрофных болотах среднего — верхнего карбона, но не столь интенсивно, как в болотах разного типа в поздней перми.

Восстановленность в мангровых болотах раннего карбона проявлялась более интенсивно, чем в таких же болотах поздней перми, что свидетельствует о значительном эволюционном изменении растительных источников углеобразования. Среди пермских углей угли мангового типа сильно восстановленные, однако слабое проявление восста-

новленности в данных углях происходит из-за большого количества в них гелифицированной массы, которая закрывает восстановленность углей. Это затрудняет распознавание седиментогенеза углей с высоким содержанием витринита петрографическим методом и выявление степени влияния глобальной эволюции флоры в верхнем палеозое на локальные флористические изменения в узлах угленакопления.

Выводы

1. В мангровых болотах раннего карбона восстановленность проявлялась более интенсивно в поздней перми, что связано с глобальным эволюционным изменением растений-углеобразователей. Происхождение флористической восстановленности предопределялось особенностью состава растительных тканей органической массы торфяника, но так как восстановленность является составной частью процесса гелификации, то данный фактор оказывал влияние на качество преобразования гелифицированного вещества из коллоидов.

2. Степень разложения гелифицированной массы и количество гелифицированных компонентов в угленосных отложениях в разные периоды угленакопления не совпадают, что обусловлено доминированием определённого типа болота в узлах угленакопления в отдельные эпохи углеобразования. Это обстоятельство необходимо учитывать при сопоставлении углей разных бассейнов с близкими свойствами для распознавания седиментогенеза углей.

ЛИТЕРАТУРА

- Алмакин Л.А. Окислительно-восстановительные состояния органической системы ископаемых углей // Кокс и химия. 2009. № 1. С. 2–6.
- Аммосов И.И., Ерёмин И.В., Сухенко С.И. и др. Расчёт шихт для коксования на основе петрографических особенностей углей // Кокс и химия. 1957. № 2. С. 9–12.
- Арцер А.С., Протасов С.И. Угли Кузбасса: происхождение, качество, использование. Кемерово: Изд-во КузГТУ, 1999. 334 с.
- Видавский В.В., Рябоконева Н.Я. Органическая масса углей в связи с их коксующими свойствами // Геолого-химическая карта Донецкого бассейна. Вып. V. Харьков. М.: Укростехиздат, 1941. С. 251–256.
- Власов В.М., Иванов Г.А. К определению степени восстановленности углей по литологическим данным // Вопросы метаморфизма и эпигенеза вмещающих пород. Л.: Наука, 1968. С. 45–49.
- Волкова И.Б. Вещественный состав углей // Угольная база России. Основные закономерности углеобразования и размещения угленосности на территории России. Т. VI. М.: Изд-во «Геоинформарк», 2004. С. 226–256.
- Вялов В.И. Восстановленность углей // Угольная база России. Основные закономерности углеобразования и размещения угленосности на территории России. Т. VI. М.: Геоинформарк, 2004. С. 347–353.

8. Гагарин С.Г. Проблема восстановленных углей. 1. Условия образования и характерные признаки разновосстановленных углей // Кокс и химия. 2004. № 4. С. 2–11.
9. Гагарин С.Г. Проблема восстановленных углей. 1. Классификация и рациональные пути использования разновосстановленных углей // Кокс и химия. 2004. № 12. С. 11–20.
10. ГОСТ 17070-87 Угли. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2003. 15 с.
11. ГОСТ 25543-2013 Угли бурые, каменные и антрациты. Классификация по генетическим и технологическим параметрам. М.: Стандартинформ, 2014. 18 с.
12. Домбровская Х.Р. Пермская флора Печорского угольного бассейна и её стратиграфическое значение в разрезе северо-восточной части бассейна. // Сб. науч. тр. Труды геологического совещания. Сыктывкар: Изд-во Коми, 1958. С. 105–114.
13. Егоров А.И. Эволюция климата, растительности и размещения различных типов позднепалеозойских углей на территории СССР // Угленосные формации верхнего палеозоя СССР. VIII Международный конгресс по стратиграфии и геологии карбона. М.: Недра, 1975. С. 31–41.
14. Ерёмин И.В., Арцер А.С., Броновец Т.Ф. Петрология и химико-технологические параметры углей Кузбасса. Кемерово: Изд-во «Притомское», 2000. 399 с.
15. Ерёмин И.В., Броновец Т.М. Марочный состав углей и их рациональное использование. Справочник. М.: Недра, 1995. 254 с.
16. Иванов В.П., Станкевич А.С., Школлер М.Б. и др. Восстановленность и петрографический состав углей Кузнецкого бассейна // Химия твёрдого топлива. 2002. № 4. С. 3–19.
17. Иванов В.П. Методологические подходы определения причинно-следственных связей, обуславливающих свойства углей. 1. Образование палеоторфяников, петрографического состава и восстановленности углей // Кокс и химия. 2010. № 5. С. 2–10.
18. Иванов В.П. Методологические подходы определения причинно-следственных связей, обуславливающих свойства углей. 2. Геохимические обстановки торфяников и микроэлементы углей // Кокс и химия. 2010. № 6. С. 2–10.
19. Иванов В.П. Оценка окисления мацералов кузнецких углей на основе ИК-спектроскопии // Кокс и химия. 2004. № 5. С. 14–21.
20. Каменева А.И., Платонов В.В. Теоретические основы химической технологии горючих ископаемых. М.: Химия, 1990. С. 18–48.
21. Коперина В.В. Состав и условия накопления надкарагандинской, долинской, наддолинской и шаханской свит Карагандинского бассейна // Труды лаборатории геологии угля. Т. IV. М.: Изд-во АН СССР, 1957. С. 5–104.
22. Петренко А.А. Верхнеуральский пояс нижнекарбонowego угленакопления // Труды лаборатории геологии угля. Т. IV. М.: Изд-во АН СССР, 1957. С. 7–109.
23. Сарбеева Л.И. О восстановленности углей и типах витринита // Вопросы метаморфизма углей и эпигенеза вмещающих пород. Л.: Наука, 1968. С. 37–45.
24. Сарбеева Л.И., Н.М. Крылова. Отражательная способность микрокомпонентов углей метаморфического ряда // Вопросы метаморфизма углей и эпигенез вмещающих пород. Л.: Наука, 1968. С. 87–106.
25. Тимофеев П.П. Угленосные формации и процессы их седиментогенеза // Угольная база России. Основные закономерности углеобразования и размещения угленосности на территории России. Т. VI. М.: Изд-во «Геоинформарк», 2004. С. 19–23.
26. Тимофеев П.П., Погребнов Н.И. Угленосные формации и их сравнительная характеристика // Угленосные формации верхнего палеозоя СССР. VIII Международный конгресс по стратиграфии и геологии карбона. М.: Недра, 1975. С. 6–18.
27. Тиссо Б., Вельте Д. Образование и распространение нефти. М.: Мир, 1981. С. 40–62.
28. Черноусов Я.М. Процессы и закономерности углеобразования. Киев: Изд-во «Вища школа», 1978. 224 с.
29. Цейслер В.М. Структурно-тектонические особенности угольных бассейнов и месторождений России. Пояса, узлы угленакопления и палеотектонические структуры земной коры // Угольная база России. Основные закономерности углеобразования и размещения угленосности на территории России. Т. VI. М.: Изд-во «Геоинформмарк», 2004. С. 179–184.