

А.А. Киселева, В.И. Рождествина, А.П. Сорокин, Н.Ю. Леусова

**ПАЛЕОРЕКОНСТРУКЦИЯ УСЛОВИЙ УГЛЕНАКОПЛЕНИЯ
СЕРГЕЕВСКОГО БУРОУГОЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

На основе молекулярных и микроскопических исследований проведен анализ фитоценозов углей Сергеевского месторождения. Рассмотрены вопросы палеорекострукции условий угленакопления. Установлено, что начало угленакопления происходило в условиях небольших мелководных озер и периодически затопляемых болотно-луговых территорий, в которых активно развивались водоросли и травянистые растения.

Ключевые слова: палеорекострукция, уголь, фитоценоз, молекулярная геохимия, биомаркеры.

**PALEORECONSTRUCTIONS CONDITIONS COAL ACCUMULATION
SERGEEVSKOYE FIELD BROWN COAL**

On the basis of molecular and microscopic research analyzed of phytocenosis coals Sergeevskoye field. Held paleoreconstructions conditions coal accumulation. It is established that the beginning of accumulation coal occurred in the conditions of the small shallow lakes, periodically flooded marsh and meadow territories in whom seaweed and grassy plants actively developed.

Key words: paleoreconstructions, coal, phytocoenosis, molecular geochemistry, biomarkers.

Формирование угольных пластов является длительным многостадийным геологическим процессом. На свойства угля и масштабы его накопления влияют химический состав исходного растительного вещества и геологические условия залегания. Большая часть ископаемой органики, рассеянной в осадочных породах, под воздействием микроорганизмов, температуры и давления утрачивает или существенно изменяет первичное молекулярное строение, но, находясь в концентрированном виде, специфическая углеродная структура, которая образуется в живых организмах, сохраняется в органическом веществе (ОВ) современных и древних осадков. Анализ строения фрагментов макромолекул угля (биометок – хемофоссилий), в значительной степени определяемых исходным биоматериалом, позволяет установить преобладающие типы угольных фитоценозов, провести реконструкцию палеоклимата, определить палеоэкологические условия накопления ОВ.

В данном направлении активно ведутся исследования в Сибирском отделении РАН: установлен состав молекул биомаркеров осадочных образований юрского, мелового и палеогенового возрастов [1, 2], а также углей различных генетических типов [3].

В рамках данной работы нами проведены газохроматографические и электронно-микроскопические исследования палеогеновых, нижне- и среднемиоценовых углей и вмещающих пород Сергеевского бурогоугольного месторождения. Опробование выполнено по четырем отдельным разрезам

от кровли пласта к его почве, с шагом 0.5 м (табл.), в точках искусственного и естественного выхода угольных пластов на дневную поверхность.

№ скважины	Маркировка образца	Глубина, м	Характеристика проб	Содержание органического углерода, %	Содержание алканов		
					суммарное, мкг/мл	четные, %	нечетные, %
1	C1/6	0,0-0,5	Кровля (пески)	4.37	30.7	31.7	68.3
	C1/5	0,5-1,0	Пески	1.68	43.47	30.6	69.4
	C1/4	1,0-1,5	Угли	49.15	394.51	24.7	75.3
	C1/3	1,5-2,0	Угли	22.32	238.35	27.9	72.1
	C1/2	2,0-2,5	Глины с угольными включениями	7.16	75.04	35.2	64.8
	C1/1	2,5-3,0	Почва (глины)	3.96	41.32	33.6	66.7
	C1/0	3,0-3,5	Пески с глинами с угольными включениями	13.78	137.69	28.2	71.8
2	C2/4	0,0-0,5	Кровля (пески)	2.02	10.41	36.4	63.6
	C2/3	0,5-1,0	Угли	35.80	259.24	28.1	71.9
	C2/2	1,0-1,5	Угли	26.44	176.24	26.7	73.3
	C2/1	1,5-2,0	Угли	30.38	89.01	26.5	73.5
3	C3/6	0,0-0,5	Кровля (пески)	0.12	2.59	50.4	49.6
	C3/5	0,5-1,0	Пески с угольными включениями	8.24	59.69	30.7	69.3
	C3/4	1,0-1,5	Угли	25.24	170.25	27.0	73.0
	C3/3	1,5-2,0	Угли	50.31	133.47	34.2	65.8
	C3/2	2,0-2,5	Угли	24.17	327.02	31.7	68.3
	C3/1	2,5-3,0	Почва (глины)	2.65	49.14	38.1	61.9
4	C4/4	0,0-0,5	Кровля (пески)	4.47	12.38	40.7	59.3
	C4/3	0,5-1,0	Угли	46.09	108.37	38.8	61.2
	C4/2	1,0-1,5	Угли	53.84	74.43	25.5	74.5
	C4/1	1,5-2,0	Почва (глины)	2.58	38.91	31.6	68.4

Исследования молекулярного состава ОБ углей и вмещающих пород проводилось хроматографическим методом на газовом хроматографе Agilent 6890 N. Подготовка образцов заключалась в следующем: растворимое органическое вещество (битумоид) экстрагировали из угля хлороформом в ультразвуковой ванне в течение 30 мин. ($t = 30^{\circ}\text{C}$), выделение насыщенных углеводородов осуществляли методом жидкостно-адсорбционной хроматографии на колонках с Al_2O_3 (элюент – гексан). На основе данных газохроматографического анализа н-алканов и изопреноидных соединений (в частности пристана (Pr) и фитана (Ph)) рассчитаны геохимические параметры происхождения и зрелости ОБ [4, 5].

Во всех исследуемых пробах – в углях и вмещающих породах – обнаружены н-алканы и вещества изопреноидной структуры: пристан и фитан. Суммарная концентрация алканов представлена в таблице. Пески кровли и глины почвы пластов в незначительных количествах содержат рассеянное органическое вещество.

Общий вид хроматограмм исследуемых образцов в большинстве случаев схож (рис. 1). Распределение н-алканов в данных образцах преимущественно бимодальное, что свидетельствует о континентальном происхождении углей [4]. Максимум приходится на гептадекан ($\text{C}_{17}\text{H}_{36}$), основным биологическим источником которого являются цианобактерии и водоросли [4], и на область нечетных высокомолекулярных н-алканов, источником образования которых являются высшие растения [4]. Почти на всех хроматограммах наблюдается очень высокое содержание по сравнению с остальными алканами $\text{C}_{29}\text{H}_{60}$ и $\text{C}_{31}\text{H}_{64}$ – эта зависимость характерна для болотных растений.

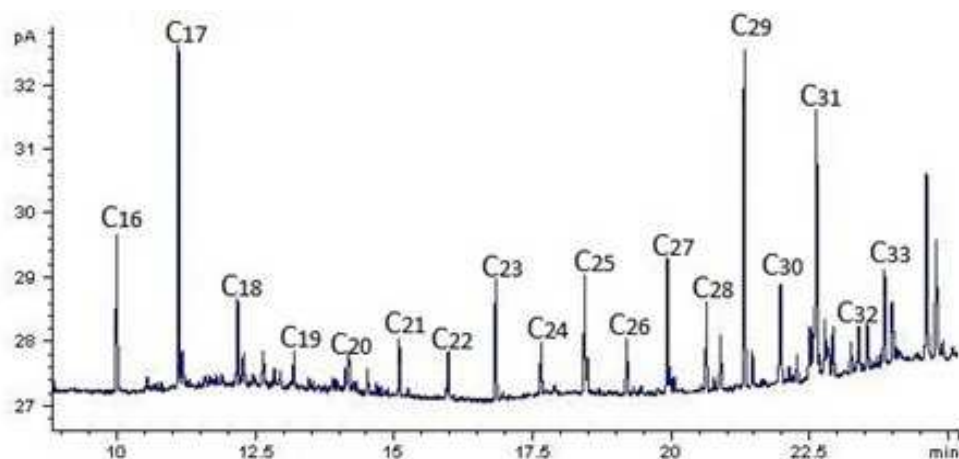


Рис. 1. Типичная хроматограмма сергеевского угля.

На всех хроматограммах преобладают *n*-алканы с нечетным количеством атомов углерода, индекс Нечет/Чет от 1.45 до 3.05, что свидетельствует о невысокой степени «зрелости» (углефикации) ископаемого органического вещества [4]. Высокие значения СРІ – от 2.42 до 4.79 для углей Сергеевского месторождения – указывают на существенный вклад высших растений в процесс углеобразования [4]

Одним из важных геохимических параметров является зависимость пристан/фитан (Pr/Ph). Большая часть образцов характеризуется преобладанием пристана над фитаном ($Pr/Ph > 1$) [4, 5]. Такие значения данного показателя свидетельствуют о континентальном генезисе ОВ и преимущественном вкладе высших растений в процесс углеобразования [4, 5]. Почти все образцы скважины № 2 попадают в зону преобладания фитана над пристаном ($Pr/Ph < 1$), это характерно для органического вещества с большим вкладом водорослей в процесс углеобразования. Присутствуют образцы и смешанного происхождения – С1/1, С1/6, С4/1 и С4/4 ($Pr/Ph = 1$) (рис. 2).

Соотношение пристана и фитана и ближайших к ним *n*-алканов – гептадекана ($C_{17}H_{36}$) и октадекана ($C_{18}H_{38}$) – используется для установления генезиса органического вещества. Зависимость $Pr/C_{17}H_{36}$ от $Ph/C_{18}H_{38}$ называется зависимостью Коннана-Кассоу (рис. 3). Установлено, что все исследуемые образцы имеют сапропелевую составляющую исходного органического вещества, что связано с периодическими затоплениями территории, образованием мелководных, хорошо прогреваемых водоемов, обеспечивающих условия для быстрого развития водорослей.

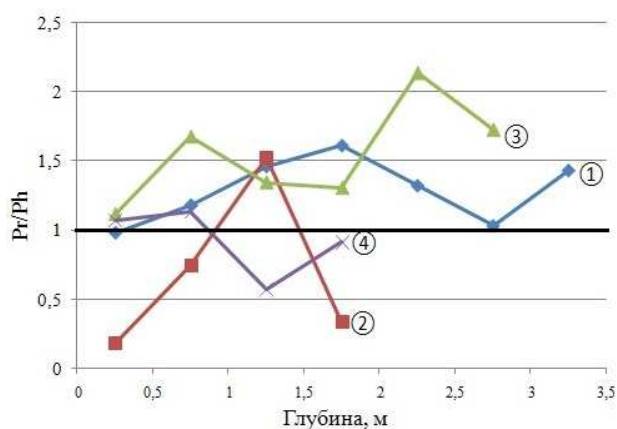


Рис. 2. Диаграмма зависимости Pr/Ph в угольных слоях Сергеевского месторождения.

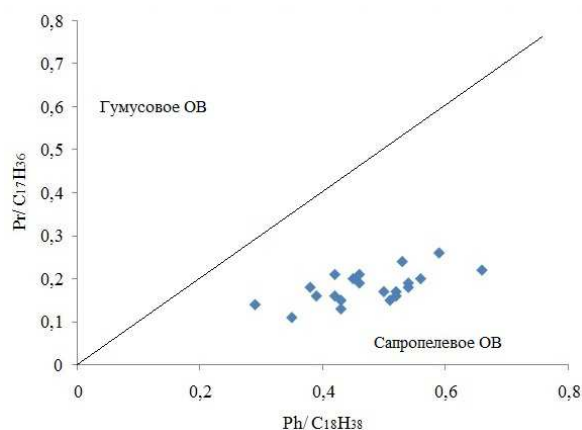


Рис. 3. Диаграмма зависимости между показателями $Pr/C_{17}H_{36}$ и $Ph/C_{18}H_{38}$ образцов Сергеевского бурогоугольного месторождения.

Мягкие бурые угли Сергеевского месторождения относятся к группе 1Б. Угли низкокалорийные, высоковлажные и высокозольные. Они характеризуются повышенными

содержаниями азота (0.8%), кислорода (26.6%), высоким выходом летучих компонентов и низкой теплотой сгорания (7.5–8.8 МДж/кг) [6]. На основе результатов полного анализа углей авторы [7] предполагают, что некоторые образцы угля Сергеевского месторождения относятся к типу II керогена, указывая на сильное родство с водорослями.

Изучение тонкого строения углей проведено методами оптической и электронной микроскопии по полированным аншлифам, а также диспергированным углям, нанесенным на предметные столики для наблюдения в электронном микроскопе. Исследования выполнены на растровом электронном микроскопе JEOL JSM-6390LV с аналитической системой микроанализа Oxford INCA Energy 350 - Wave (Англия) с дисперсией по энергии и длине волны, а также на оптическом микроскопе Axio Scope A1 (Zeiss) с цветной цифровой 3-мегапиксельной камерой AxioCam ICc3.

Электронно-микроскопические исследования тонкого строения угля показали присутствие значительного количества створок диатомей (рис. 4), реже отмечались цисты золотистых водорослей, органическое вещество углей нередко сохраняет микростроение травянистых растений.

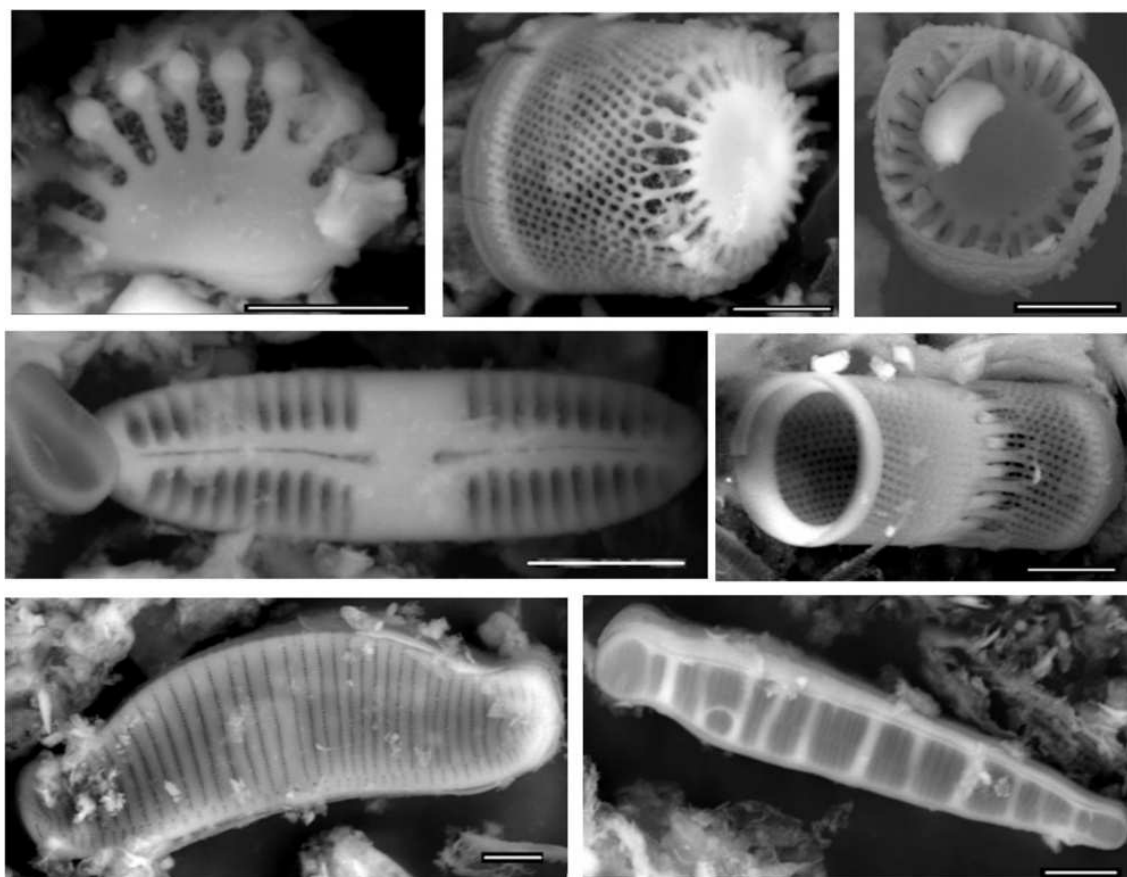


Рис. 4. Диатомовые водоросли из углей Сергеевского месторождения (метка 5 мкм).

В результате проведенных исследований установлены следующие виды диатомовых водорослей (определение и описание выполнено по [8]):

Melosira italica (Ehr.) Ktz. – пресноводный, широко распространенный вид, ископаемые, ранее описаны в четвертичных отложениях Дальнего Востока (ДВ);

Cyclotella Meneghiniana Ktz – пресноводно-солончатый галофильный вид, обитает в стоячих водоемах, сапрофил, сапробионт, широко распространен по всей территории России, Европы, ископаемый вид в четвертичных отложениях ДВ, в послеледниковых отложениях;

Navicula rhynchocephala var. *Orientalis* I.Kiss – створка со щелевидным швом навикулоидного типа, пресноводный, слегка солоноватоводный вид, встречается в четвертичных (?) отложениях ДВ;

Navicula mutica – створка со щелевидным швом навикулоидного типа, пресноводно-солончатый вид, встречается в четвертичных отложениях ДВ;

Caloneis bacillum – створка со щелевидным швом навикулоидного типа, пресноводные, встречается в водоемах и в четвертичных отложениях ДВ;

Pinnularia viridis – створка со щелевидным швом навикулоидного типа, пресноводный, очень широко распространенный вид и разновидности, ископаемые в третичных отложениях (?) ДВ;

Pinnularia viridis – створка со щелевидным швом навикулоидного типа, пресноводные, выявлены в четвертичных отложениях ДВ;

Caloneis silicula (Ehr.) var. *jenissejensis* Grun – створка со щелевидным швом навикулоидного типа, встречается в водах различного происхождения, установлена в четвертичных отложениях (?) ДВ;

Eunotia praerupta var. *Bidens* – спинной край сильно выпуклый, с небольшой вогнутостью посередине, широко распространенный пресноводный вид, особенно в северных и горных водоемах, на ДВ обнаружен в миоценовых отложениях, а также нередко в четвертичных отложениях;

Comphonema acuminatum Ehr. Var. *coronata* – створка со щелевидным швом навикулоидного типа, преимущественно пресноводные, литоральные, широко распространенные в водоемах различного типа, установлены в четвертичных отложениях долины р. Амур. (?) (в третичных отложениях ДВ);

Diatoma hiemale (Lyngb.) Heib. – виды пресноводные, широко распространены среди обрастаний, выявлены в третичных и четвертичных отложениях ДВ.

В данной работе представлена лишь часть видов диатомей, обнаруженных в углях Сергеевского месторождения. В настоящее время ведется расшифровка и обработка полученных экспериментальных данных. Но и имеющиеся на данный момент результаты свидетельствуют о достаточно широком видовом разнообразии диатомей. Исследований ископаемых водорослей угольных месторождений на территории Амурской области до настоящего времени не проводилось.

Выводы

Генезис Сергеевского угольного месторождения континентальный. Накопление органического вещества проходило в существенно изменяющихся условиях, при участии высших растений (древесных и травянистых) и водорослей.

Анализ изменения геохимических показателей, полученных при обработке хроматографических данных, свидетельствует, что процесс накопления угленосных пород в точке отбора проб 1-й скважины проходил при доминирующей участии высших (древесных) растений ($Pr/Ph > 1$) и двукратном цикле преобладания травянистых растений, что, вероятно, обусловлено периодическим заболачиванием территории ($Pr/Ph \approx 1$).

Начало формирования угленосных пород в точке отбора проб 2-й скважины проходило в условиях небольших мелководных озер, при активном участии водорослей ($Pr/Ph < 1$), угли средней части являются аллохтонными, их генезис связан с поступлением и накоплением древесного материала, принесенного, по всей вероятности, паводком или наводнением. Дальнейшее понижение показателя Pr/Ph в верхней части разреза указывает на длительное затопление территории.

Угленосные породы 3-й скважины в основном генетически обусловлены процессом накопления высших растений, преимущественно травянистых ($Pr/Ph > 1$), с увеличенной долей древесных компонентов на начальном этапе накопления ($Pr/Ph \gg 1$) и заболачиванием на конечной стадии ($Pr/Ph \approx 1$).

Формирование угленосных пород в точке отбора проб 4-й скважины также имеет циклический характер, что связано с процессами осушения и затопления болот. Рассеянное

органическое вещество глин почвы пласта имеет смешанный генезис ($Pr/Ph \approx 1$), скорее всего это связано с началом формирования торфяного болота. Выше по разрезу наблюдается существенное увеличение водорослевой составляющей ($Pr/Ph < 1$), которая сменяется увеличением доли травянистых растений (Pr/Ph немного >1), а в кровле пласта органическое вещество вновь имеет смешанный генетический тип ($Pr/Ph \approx 1$).

Таким образом, проведенное исследование позволяет предположить, что формирование углей Сергеевского месторождения происходило преимущественно в условиях небольших мелководных озер, периодически затопляемых болотно-луговых территорий, в которых активно развивались водоросли и травянистые растения. Накопление органического вещества древесных растений, вероятно, связано с паводками и периодическими пожарами.

Исследования выполнены при поддержке Президиума РАН и Президиума ДВО РАН (проект 12-1-П27-03).

-
1. Гончаров, И.В. Геохимия нефтей Западной Сибири. – М.: Недра, 1987. – 181 с.
 2. Каширцев, В.А., Конторович, А.Э., Москвин, В.И., Кучкина, А.Ю., Ким, В.Е. Углеводороды-биомаркеры в органическом веществе палеогеновых отложений юга Западной Сибири // Нефтехимия. – 2008. – Т. 48, № 4. – С. 271-276.
 3. Каширцев, В.А., Москвин, В.И., Фомин, А.Н., Чалая, О.Н. Терпановые и стерановые углеводороды в углях различных генетических типов Сибири // Геология и геофизика. – 2010. – Т. 51, № 4. – С. 516-524.
 4. Шляхов, А.Ф. Газовая хроматография в органической геохимии. – М.: Недра, 1984. – 221 с.
 5. Былинкин, Г.П. Информативность генетического показателя пристан/фитан // Геология нефти и газа. – 1987. – № 8. – С. 59-62.
 6. Сорокин, А.П., Савченко, И.Ф., Межаков, В.З., Артеменко, Т.В. Инновационно-технологические разработки эффективного использования низкокалорийных бурых углей Западного Приамурья // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2012. – № 4. – С. 165-171.
 7. Crosdale, P.J., Sorokin, A.P., Woolfe, K.J., Macdonald, D.I. M. Inertinite-rich Tertiary coals from the Zeya-Bureya Basin, Far Eastern Russia // International journal of coal geology. – 2002. – Vol. 51, № 4. – P. 215-235.
 8. Диатомовый анализ. Определитель ископаемых и современных диатомовых водорослей / под ред. А.Н. Криштофовича. – М.: Гос. изд-во геолог. лит., 1949. – Кн. 1. – 399 с.; Кн. 2. – 239 с.