

УДК 552.554.2 (571.17)

МАЦЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ СРЕДНЕ-И ВЕРХНЕЮРСКИХ УГЛЕЙ НА ЮГО-ВОСТОКЕ ЗАПАДНО-СИБИРСКОГО МЕГАБАСЕЙНА

А.Н. Фомин¹, Г.А. Лобова²

*Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО
РАН, 630090, г. Новосибирск, просп. Коптюга, 3, Россия, e-mail: fominan@ipgg.sbras.ru*

*²Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, просп. Ленина, 30,
Россия, e-mail: lobovaga@tpu.ru*

Аннотация. Микроскопически в проходящем свете определен мацеральный состав углей тюменской и васюганской свит из керна скважин на юго-востоке Западно-Сибирского мегабассейна. Проведено их описание, выделены группы, классы, подклассы, типы и подтипы, показаны фотографии наиболее типичных мацералов и процентные содержания их в некоторых образцах. В изученных углях тюменской и васюганской свит установлен близкий мацеральный состав. Так, в *первой* отмечаются следующие вариации групп мацералов (%): - витринита – 27-100 (среднее 77); инертинита – 0-73 (18); липтинита – 0-33 (8), а в васюганской (%): витринита – 52-100 (среднее 82); инертинита – 0-44 (14); липтинита – 0-48 (12). Следовательно, угли формировались примерно в одинаковых фациальных условиях. Исходным материалом для них были остатки высших растений - лигниноцеллюлозные ткани, в меньшей мере липоидные компоненты. В рассматриваемом районе угли верхней и средней юры в этом отношении практически не изучены. Мацеральный состав углей способствует уточнению фациальных условий формирования углесодержащих толщ. Эти данные могут быть также полезны в будущем нефтяникам-разработчикам месторождений углеводородного сырья для эффективной подземной газификации углей с целью дополнительного наполнения существующих газопроводов.

Ключевые слова: Западная Сибирь, тюменская и васюганская свиты, мацеральный состав углей, условия формирования.

УДК 552.554.2 (571.17)

MACERAL COMPOSITIONS OF MIDDLE AND UPPER JURASSIC COALS IN THE SOUTHEAST OF THE WEST SIBERIAN MEGABASIN

A.N. Fomin. G.A. Lobova

*Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Novosibirsk, Russia,
e-mail: fominan@ipgg.sbras.ru*

Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia, e-mail: lobovaga@tpu.ru

Abstract: The maceral composition of borehole coal cores from the Tyumen and Vasyugan Formations in the southeastern West Siberian megabasin (Tomsk and Novosibirsk regions) was determined using reflected light microscopy. We have identified and described

the groups, classes, subclasses, types, and subtypes, with the most typical macerals photographed and their percentage shares determined from some samples. The maceral compositions are shown to be largely identical in the studied coals of the Tyumen and Vasyugan Formations. The revealed variations in the maceral groups for these formations are as follows (%): vitrinite - 27-100 (averaging 77); inertinite - 0-73 (18); liptinite - 0-33 (8) for the Tyumen Formation, and vitrinite - 52-100 (averaging 82); inertinite - 0-44 (14); liptinite - 0-48 (12) for the Vasyugan Fm (%), thus suggesting a close similarity in the facies conditions of the formation of their coals. The higher plant inputs — lignocellulose tissues, and more rarely, lipid components — served as their source material. In this regard, Upper and Middle Jurassic coals have been extremely underexplored within this area. Analysis of the maceral composition of coals, along with lithological studies, contribute to understanding the facies conditions of the formation of coal-bearing strata. These data may also be useful for petroleum producers in developing hydrocarbon deposits for efficient underground coal gasification, to alleviate the tight supply of natural gas.

Key words: Western Siberia, Tyumen Formation and Vasyugan Formation, maceral composition of coals, formation conditions.

ВВЕДЕНИЕ

Уголь сложен мацералами (микрокомпонентами) органического происхождения, среди которых в разных концентрациях присутствуют минеральные примеси. Его неоднородность нередко видна даже визуально, но детали строения можно рассмотреть только под микроскопом. Различия в исходном органическом материале, степени обводненности водоемов, химическом составе среды и фациальных обстановках осадко- и торфонакопления, обуславливающие направленность и интенсивность протекания окислительных и восстановительных микробиологических процессов, привели к многообразию мацерального состава и генетических типов углей. В диагенезе лигниноцеллюлозные ткани растений подвергаются различным превращениям: гелификации (разложение в анаэробных условиях до бесструктурного состояния) с последующей витринизацией; фюзинизации (окислению) полной или частичной; последовательным наложением этих процессов на органические остатки. Мацералы углей обладают микроструктурными признаками и образуются из различных органов или тканей растений. Они представляют собой микроскопически различимые составляющие угля, которые в зависимости от их количественного участия и взаимного соотношения определяют его физические, химические и технологические свойства.

МЕТОДИКА

Материалом для исследования послужили 106 образцов верхне- и среднеюрских углей (васюганская и тюменская свиты) из 56 скважин на 35 разведочных площадях (рис. 1) юго-востока Западно-Сибирского мегабассейна (Томская и Новосибирская области). Ручным сканированием под микроскопом всей поверхности шлифа по методике ГОСТ Р55662-2013 [Методы петрографического анализа..., 2014] подсчитано процентное

содержание мацералов, которые диагностировались по цвету, морфологии, структуре,



Рис. 1. Схема расположения разведочных площадей, с которых изучены угли тюменской и васюганской свит. Условные обозначения: 1 - административные границы областей; 2 - реки; 3 - населенные пункты; 4 - разведочные площади.

степени ее сохранности. Проведено их описание, выделены группы, классы, подклассы, типы и подтипы по классификации [Вальц, Гинзбург, Крылова, 1968]. Фотографии наиболее типичных мацералов углей показаны на рисунках, а их процентные содержания – в таблицах. По требованиям указанного выше ГОСТа, мацеральный состав углей определяют в полированных аншлиф-брикетах в отраженном свете. Но при этом освещении надежно диагностируются в основном мацералы групп витринита и инертинита, а другие часто сливаются с органической массой и плохо различимы на всех стадиях катагенеза. Тогда как мацералы групп липтинита и альгинита по формам, а также желтым и оранжевым цветам в проходящем свете очень четко выделяются на фоне красных и коричневых тонов основной массы гелитолитов. Изученные угли умеренно преобразованы (марки Д и Г, $R_{\text{vt}}^0 - 0.55-0.75 \%$) и катагенез еще слабо отразился на цвете фрагментов. Поэтому мацералы исследовали в проходящем свете. Для достоверности получаемых результатов, из одного образца изготавливалось несколько шлифов и в каждом определялся мацеральный состав, потом из них подсчитывались средние

значения. В рассматриваемом районе угли тюменской и васюганской свит в этом отношении слабо изучены, отдельные сведения приведены в работах [Фомин, 2022; Фомин, Горохова, 2023, 2024], а по смежным районам в статье П.А. Трушкова [1976]. Более подробная углепетрографическая информация имеется за пределами территории исследования по Шаимскому нефтегазоносному району на западе Западно-Сибирского мегабассейна [Угленасыщенность, петрографический состав..., 2006].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В углях *тюменской свиты* отмечаются следующие вариации групп мацералов (%):
- витринита – 27-100 (среднее 77); инертинита – 0-73 (18); липтинита – 0-33 (8) – табл. 1.

Угли сложены в основном остатками лигниноцеллюлозных тканей, подвергшимся в

Таблица 1. Мацеральный состав углей (группа гумолиты) тюменской свиты

№ обр.	Скважина	Глубина, м	Мацеральный состав, %			Класс	Подкласс	Тип	Подтип
			Vt	I	L				
3488	Фестивальная-255	3119	91	9	-	ГЛ	гелиты	ф-гелиты	гомогелиты
3491	Фестивальная-255	3150	43	57	-	ФЛ	фюзититы	г-фюзититы	телофюзититы
7522	Ю-Фестивальная-3	3179	72	24	4	ГЛ	гелититы	л-ф-гелититы	гомогелититы
1749	Казанская-3	2715	76	-	24	ГЛ	гелиты	л-гелиты	гомогелиты
3675	Калиновая-2	2929	82	18	-	ГЛ	гелиты	ф-гелиты	гомогелиты
3511	Калиновая-4	2957	37	63	-	ФЛ	фюзититы	г-фюзититы	телофюзититы
3568	Останинская-439	2620	90	6	4	ГЛ	гелиты	л-ф-гелиты	гомогелиты
3698	Останинская-435	2733	53	47	-	ФЛ	фюзититы	г-фюзититы	телофюзититы
4939	Северо-Останинская-9	2782	68	32	-	ГЛ	гелититы	ф-гелититы	гомогелититы
3682	Зап-Останинская-440	2697	67	30	3	ГЛ	гелититы	л-ф-гелититы	гомогелититы
4352	Урманская-1	3105	82	15	3	ГЛ	гелиты	л-ф-гелиты	гомогелиты
4415	Южно-Урманская-1	2894	79	3	18	ГЛ	гелиты	ф-л-гелиты	гомогелиты
5561	Арчинская-40	2892	81	15	4	ГЛ	гелиты	л-ф-гелиты	гомогелиты
3585	Нюльгинская-1	2891	94	6	-	ГЛ	гелиты	ф-гелиты	гомогелиты
3588	Нюльгинская-1	3084	56	44	-	ГЛ	гелититы	ф-гелититы	гомогелититы
4691	Верхнекомбарская-294	2756	87	3	10	ГЛ	гелиты	ф-л-гелиты	гомогелиты
4908	Верхнекомбарская-295	2805	27	73	-	ФЛ	фюзититы	г-фюзититы	телофюзититы
4715	Сельвейкинская-2	2906	79	18	3	ГЛ	гелиты	л-ф-гелиты	гомогелиты
5555	Селимхановская-2	2430	94	-	6	ГЛ	гелиты	л-гелиты	гомогелиты
4921	Горелоярская-5	2562	100	-	-	ГЛ	гелиты	гелиты	гомогелиты
3624	Весенняя-225	3660	62	6	32	ГЛ	гелититы	ф-л-гелититы	гомогелититы
2638	Озерная-73	2790	71	9	20	ГЛ	гелититы	ф-л-гелититы	гомогелититы
4540	Соломбальская-1	2764	100	-	-	ГЛ	гелиты	гелиты	гомогелиты
2631	Черемшанская-2	2680	69	11	20	ГЛ	гелититы	ф-л-гелититы	гомогелититы
4973	Чагвинская-1	2876	86	14	-	ГЛ	гелиты	л-гелиты	гомогелиты
5514	Шингинская-229	2826	91	3	6	ГЛ	гелиты	ф-л-гелиты	гомогелиты
7476	Налимья-3	3177	96	-	4	ГЛ	гелиты	л-гелиты	гомогелиты
9327	Майская-392	2949	79	16	5	ГЛ	гелиты	л-ф-гелиты	гомогелиты
9328	Майская-392	2940	48	52	-	ФЛ	фюзититы	г-фюзититы	телофюзититы
3681	Нижнетабаганская-8	2853	100	-	-	ГЛ	гелиты	гелиты	гомогелиты
3694	Нижнетабаганская-1	2973	77	23	-	ГЛ	гелиты	ф-гелиты	гомогелиты
4750	Нижнетабаганская-12	3093	71	-	29	ГЛ	гелититы	л-гелититы	гомогелититы
7539	Сев-Черталинская-400	2826	78	17	5	ГЛ	гелиты	л-ф-гелиты	гомогелиты
8000	Герасимовская-200	2683	91	9	-	ГЛ	гелиты	ф-гелиты	гомогелиты
7070	Еллейидайская-3	2968	98	1	1	ГЛ	гелиты	ф-л-гелиты	гомогелиты

13/3-3	Малоичская-13	2892	57	40	3	ГЛ	гелититы	л-ф-гелититы	гомогелититы
12312	Малоичская-13	2898	94	2	4	ГЛ	гелиты	ф-л-гелиты	гомогелиты
7193	Дедовская-3	2846	96	-	4	ГЛ	гелиты	л-гелиты	гомогелиты
6824	Еласская-1	2741	80	14	6	ГЛ	гелиты	л-ф-гелиты	гомогелиты
1521	Межовская-5	2268	79	16	5	ГЛ	гелиты	л-ф-гелиты	гомогелиты
1831	Сергеевская-1	2635	64	3	33	ГЛ	гелититы	ф-л-гелититы	гомогелититы
5716	Восточная-2	2876	84	3	3	ГЛ	гелиты	ф-л-гелиты	гомогелиты

Примечание. Классы: ГЛ – гелитолиты; ФЛ – фюзенолиты. Группы мацералов: Vt – витринита; I – инертинита; L – липтинита. Сокращения: ф – фюзинито; л – липоидо; г – гелито.

диагенезе в разной степени окислительно-восстановительным процессам. Одни из них прошли стадию гелификации и превратились в однородную массу коллинита – рис. 2 (обр. 4715, 4750). Другие представляют собой вытянутые фрагменты, имеющие светло-красный цвет внешних частей и коричневато-красный внутренних. Такая разновидность называется ленточный витринит (обр. 3681) и напоминает макроспоры. Иногда можно наблюдать изометричные комковатого строения фрагменты витринита (телинита) с остатками клеточного строения (ксилинит, обр. 7070). Этот мацерал образовался из древесины или перидермы (многослойная вторичная покровная ткань стеблей, корней, корневищ и клубней растений) и в нем заметна анатомическая структура. Форма клеток зависит от среза – в поперечном они округлые, овальные, а в продольном в виде волокон, в которых иногда заметны поры.

В угле отмечается значительное количество (18 %) мацералов группы инертинита (семифюзинит, макринит, микринит, фюзинит и склеротинит), прошедших разные этапы гелификации (разложения) и фюзинизации (окисления). Это вторая по распространенности группа мацералов, встречающаяся в виде примеси почти во всех углях группы гумолитов. В ней объединены микрокомпоненты, сохранившие следы анатомического строения растений, претерпевшие в той или иной мере воздействие окислительных процессов. Они коричневые, темно-бурые, черные в проходящем свете. В зависимости от предварительно пройденной ими стадии гелификации структура фрагментов разнообразная - от ясно видимого клеточного строения до однородной массы. Форма округлая, эллипсовидная, вытянутая и др. Семифюзинит был сначала подвержен гелификации, а позднее фюзинизации. В проходящем свете он темно-коричневый с отдельными светлыми точками, представляющими собой просвечивающие остатки заплывших полостей клеток (обр. 4715). Макринит - это растительные ткани, которые сначала испытали значительную гелификацию (что привело к нарушению исходной клеточной структуры), а затем - сильную фюзинизацию. Этот окислительный процесс отразился на потемнении фрагментов. Их форма вытянутая или изометричная (обр. 3511). Обычно макринит находится среди витринизированной массы в виде черных вытянутых полос, в которых плохо видна исходная структура растительных тканей. Вместе с ним можно наблюдать мелкие комочки и линзочки микринита, представляющих собой мелкие обрывки растительных тканей, в которых структура не видна из-за малых размеров частиц. Реже встречаются крупные темно-коричневые до черного удлиненные фрагменты фюзинита с хорошо сохранившейся клеточной структурой, что свидетельствует практически об отсутствии влияния

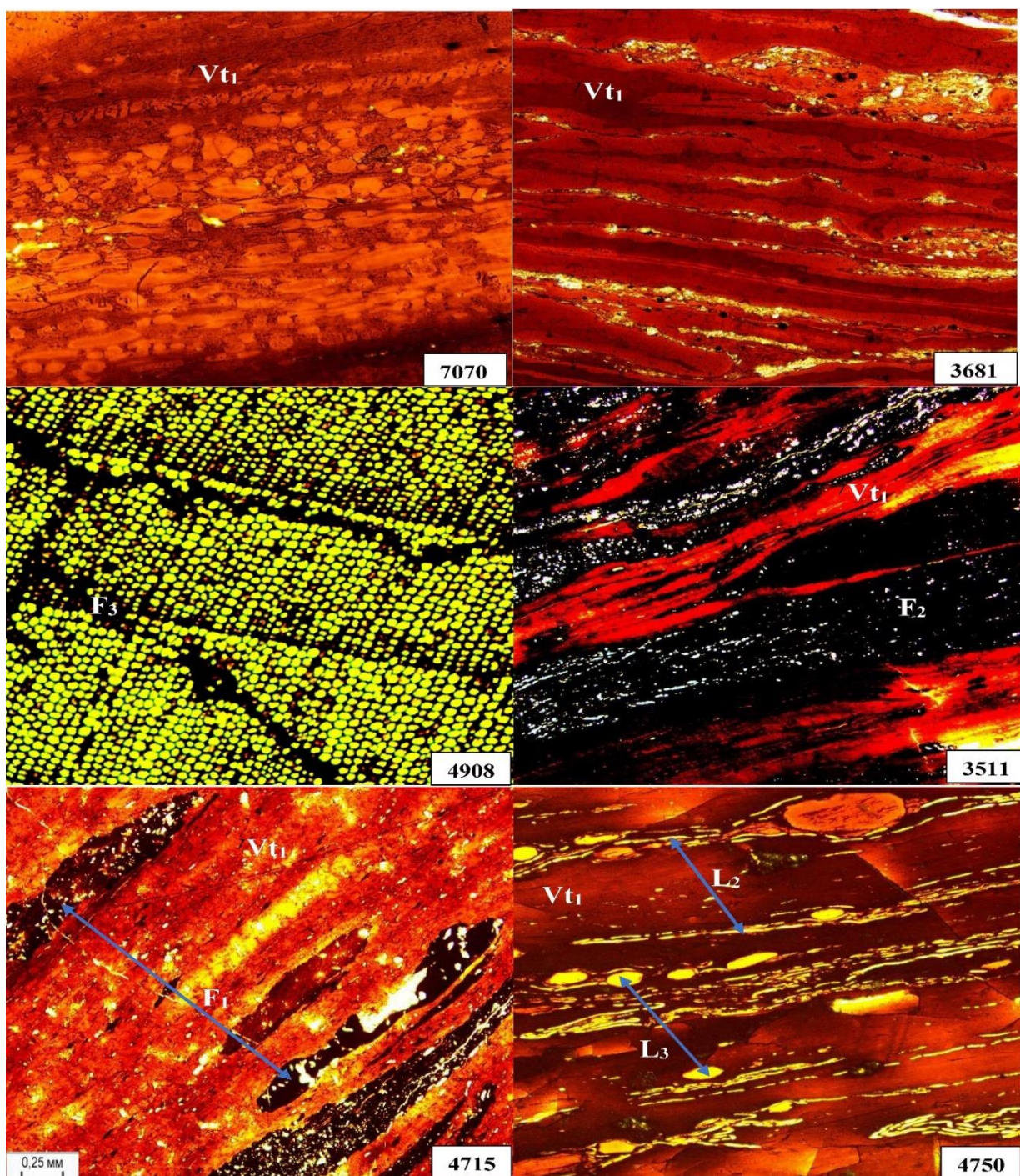


Рис. 2. Группы мацералов в углях тюменской свиты. Витринита: Vt₁ – коллинит; Vt₂ – телинит. Инертинита: F₁ – семифузинит; F₂ – макринит; F₃ – фузинит; F₄ – склеротинит (фунгинит). Липтинита: L₁ – споринит; L₂ – кутинит; L₃ – резинит. 3511 – номера образцов из табл. 1-2.

процессов гелификации. Клетки обычно пустые и структура похожа на перфорированную ткань (обр. 4908).

На фоне красно-коричневой гелефицированной массы встречаются липоидные компоненты желтых и оранжевых тонов (иногда в значительных количествах, до 29 %), представленные нитевидной формы кутинитом и эллипсовидным резинитом (обр. 4750).

Примерно такой же мацеральный состав отмечается в углях *васюганской свиты* (%): витринита – 52-100 (среднее 82); инертинита – 0-44 (14); липтинита – 0-48 (12) – табл. 2. Обычно преобладает бесструктурная, гелифицированная оранжево-красная масса витринита (коллинита), практически утратившая свою исходную растительную структуру – (рис. 3). В угле заметно присутствие фюзинизированных компонентов (14 %), представленных семифюзинитом и склеротинитом (иногда его называют фунгинитом). Семифюзинит – растительные ткани коричневого и бурого цвета (обр. 8880), по морфологии, структуре и цветовым оттенкам они занимают промежуточное положение между семителинитом и собственно фюзинитом. Нередко можно наблюдать также плавные переходы семифюзинита в другие микрокомпоненты - семивитринит или фюзинит. Ячеистая структура у семифюзинита в основном имеет худшую сохранность, чем у фюзинита. Склеротинит по мнению многих исследователей [Жемчужников, Гинзбург, 1960; Вальц, Гинзбург, Крылова, 1968], представляет собой склероции грибов, разрушающих древесину. В строении оболочек грибных спор принимает участие хитин, чем и обуславливается повышенная, по сравнению с лигниноцеллюлозными тканями, устойчивость этого компонента к влиянию различных факторов. Он является индикатором условий торфонакопления. Значительные концентрации его могут указывать на неблагоприятные условия накопления растительного материала (засушливый климат, кислотность среды и др.). Склеротинит (фунгинит) встречается в виде отдельных округлых или эллипсовидных тел.

Таблица 2. Мацеральный состав углей (группа гумолиты, класс гелитолиты) васюганской свиты

№ обр.	Скважина	Глубина, м	Мацеральный состав, %			Подкласс	Тип	Подтип
			Vt	I	L			
12245	Зап.-Сомовская-11	2491	95	5	-	гелиты	ф-гелиты	гомогелиты
12246	Зап.-Сомовская-11	2493	61	31	8	гелититы	л-ф-гелититы	гомогелититы
12252	Рыбальная-412	2462	100	-	-	гелиты	гелиты	гомогелиты
12253	Рыбальная-412	2464	84	6	10	гелиты	ф-л-гелиты	гомогелиты
12240	Казанская-16	2501	52	44	4	гелититы	л-ф-гелититы	гомогелититы
12241	Казанская-16	2503	76	19	5	гелиты	л-ф-гелиты	гомогелиты
12242	Казанская-16	2524	68	32	-	гелититы	ф-гелититы	гомогелититы
12249	Пинджинская-8	2636	79	17	4	гелиты	л-ф-гелиты	гомогелиты
7997	Болтная-2	2480	80	20	-	гелиты	ф-гелиты	гомогелиты
7998	Болтная-2	2502	96	4	-	гелиты	ф-гелиты	гомогелиты
1913	Игольская-1	2774	89	5	6	гелиты	ф-л-гелиты	гомогелиты
5025	Калиновая-22	2623	82	-	18	гелиты	л-гелиты	гомогелиты
4462	Калиновая-8	2584	52	-	48	гелититы	л-гелититы	гомогелититы
4466	Калиновая-8	2550	84	-	16	гелиты	л-гелиты	гомогелиты
5000	Северо-Калиновая-21	2608	92	8	-	гелиты	ф-гелиты	гомогелиты
4452-1	Нижнетабаганская-9	2620	93	-	7	гелиты	л-гелиты	гомогелиты
4452-2	Нижнетабаганская-9	2622	68	24	8	гелититы	л-ф-гелититы	гомогелититы
3543	Урманская-1	2464	94	2	4	гелиты	ф-л-гелиты	гомогелиты
5055	Сельвейкинская-2	2616	93	-	7	гелиты	л-гелиты	гомогелиты
3584	Нюльгинская-1	2807	76	-	24	гелиты	л-гелиты	гомогелиты
9331	Майская-392	2646	57	43	-	гелититы	ф-гелититы	гомогелититы

3483	Фестивальная-255	2796	82	14	4	гелиты	л-ф-гелиты	гомогелиты
3905	Калчанская-1	2375	55	-	45	гелититы	л-гелититы	гомогелититы
3905a	Калчанская-1	2377	30	28	42	микстогумиты	микстогумиты	не выделяются
7797	Крапивинская-216	2746	96	3	1	гелиты	ф-гелиты	гомогелиты
3605	Карандашовская-3	2585	82	11	7	гелиты	л-ф-гелиты	гомогелиты
6761	Катыльгинская-100	2590	68	-	32	гелититы	л-гелититы	гомогелититы
8282	Налимья-8	2909	70	18	12	гелититы	л-ф-гелититы	гомогелититы
1710	Ургульская-4	2447	84	1	15	гелиты	л-гелиты	гомогелиты
2965	Шингинская-300	2678	96	2	2	гелиты	гелиты	гомогелиты
8970	Двуреченская-11	2677	84	10	6	гелиты	л-ф-гелиты	гомогелиты
8880	Ракитинская-5	2479	88	12	-	гелиты	ф-гелиты	гомогелиты

Примечание. Группы мацералов: Vt - витринита; I - инертинита; L – липтинита. Сокращения: ф – фюзинито; л – липоидо; г – гелито.

В проходящем свете он темно-коричневый либо черный, заметно выделяется на фоне часто обволакивающей его красной волокнистой витринизированной ткани (обр. 4452).

На фоне красно-коричневой гелифицированной органической массы довольно четко выделяются липоидные мацералы (до 48 %, среднее 12 %) желто-оранжевого цвета. Среди них преобладают относительно тонкие нитевидные фрагменты кутинита (обр. 4466, 5025), окружающие витринизированное вещество. Это поперечный срез спрессованных листьев, внешняя сторона кожицы которых более или менее ровная, а внутренняя обычно зубчатая. Кутикула не проницаема для воды и, покрывая зеленые части растений, предохраняет их от потери влаги, т.е. выполняет функцию защиты от высыхания. Поэтому наиболее толстая кутикула отмечается у растений засушливых зон, а тонкая (как в рассмотренных образцах) - во влажных и затененных местах. Из других липоидных компонентов иногда встречаются микро- и макроспоры (обр. 4462) и эллипсовидные фрагменты резинита (обр. 5025, 4462). Эти смоляные тела служат для защиты растений от высыхания и гниения, а также от разрушения микроорганизмами в местах нарушения целостности органических остатков. Среди остальной витринизированной массы они выделяются своими ровными четкими контурами. Иногда их поверхность имеет разный рельеф и неровности в виде бороздок. Особенно много смоляных телец содержат голосеменные растения, в частности, хвойные. Иногда среди витринизированной массы встречаются черные, практически круглые скопления пирита - FeS_2 (обр. 1913).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В изученных углях тюменской и васюганской свит установлен близкий мацеральный состав. Так, в *первой* отмечаются следующие вариации групп мацералов (%): - витринита – 27-100 (среднее 77); инертинита – 0-73 (18); липтинита – 0-33 (8), а в васюганской (%): витринита – 52-100 (среднее 82); инертинита – 0-44 (14); липтинита – 0-48 (12). Это свидетельствует о том, что угли этих толщ формировались примерно в одинаковых фациальных условиях. Поэтому здесь мы приводим общие для них выводы. По классификации [Вальц, Гинзбург, Крылова, 1968], вещественно- петрографический состав углей в основном следующий - группа гумолиты, класс гелитолиты (реже фюзенолиты, в единичных случаях микстогумолиты, если нет резкого преобладания

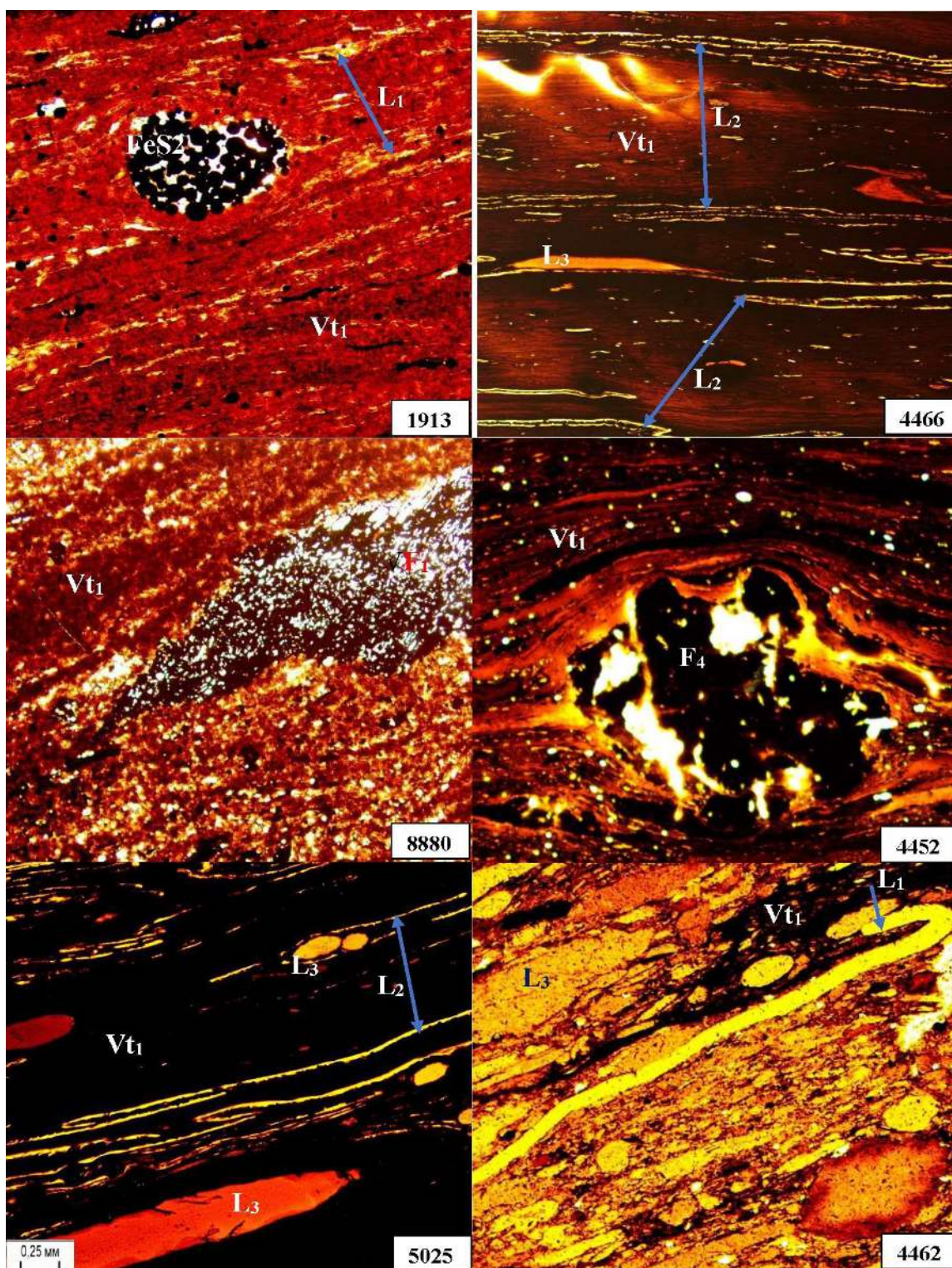


Рис. 3. Группы мацералов в углях васюганской свиты. Условные обозначения на рис. 2.

какой-либо одной группы мацералов), подкласс гелиты (иногда гелититы), тип липоидо-фюзинито-гелиты (реже фюзинито-липоидо-гелиты или гелититы). Деление углей на типы производится по соотношению гелифицированных, фюзинизированных и липоидных мацералов, например, липоидо-фюзинито-гелиты перечислены по мере

увеличения их содержания в угле. В гелитолитах гелифицированные компоненты (V_t) преобладают над липоидными (L) и фюзинизированными ($V_t > 50 \%$, $F+L < 50 \%$) и поэтому они отличаются повышенным блеском. Это особенно характерно для углей, в составе которых содержание витринита приближается к 100 % (гелиты). Накопление и преобразование исходного материала гелитолитов происходит в условиях сильно обводненных торфяных болот с различной динамикой среды - застойных (формируются угли малозольные) и проточных (зольные). Степень обводненности торфяного болота, в котором происходит накопление исходного материала углей, в существенной мере определяет мацеральный состав. В застойных условиях происходило образование подкласса гелитов ($V_t > 75 \%$) в проточных – гелититов ($V_t - 50-75 \%$). В последнем случае из-за повышенного поступления в водоемы кислорода шло частичное окисление лигниноцеллюлозных тканей и увеличение содержания фюзинизированных мацералов. Анаэробные (в водной среде) условия приводили к гелификации органического материала и образованию блестящих витриновых углей. Аэробные условия и окислительная среда способствовали фюзинизации (окислению) тканей и формированию волокнистых и сажистых фюзеновых углей. Вымывание проточными водами продуктов окисления лигниноцеллюлозных тканей сопровождалось обогащением органической массы остатками наиболее устойчивых липоидных частей растений (споринитом, кутинитом и резинитом). В исследованных образцах тюменской и васюганской свит преобладают угли класса гелитов (подтип гомогелитов – доминирует бесструктурный витринит), в которых чаще всего встречаются мацералы групп витринита (иногда до 100 %) и инертинита (до 73 %), являющиеся углеобразующими (рис. 2-3, табл. 1-2). Исходным материалом для них послужили стволы, ветви, пни, корни деревьев.

Наряду с динамикой водной среды, одной из причин образования подтипов этих углей могла быть и скорость погружения бассейна. Если она была значительной, то процессы разложения не успели существенно повлиять на изменение анатомического строения исходного материала и формировались угли с преобладанием структурных фрагментов (телогелиты). И наоборот, медленное опускание бассейна сильно отразилось на сохранности растительных тканей, и в результате этого образовалась бесструктурная гелифицированная масса (гомогелиты), преобладающая в рассмотренных углях. В некоторых образцах наблюдается значительное содержание мацералов липтинита (до 33 % и 48 %, соответственно, в тюменской и васюганской свитах). Считается [Жемчужников, Гинзбург, 1960], что эти угли формировались в проточных болотах, в которых процесс превращения растительных тканей протекает иначе, чем в застойных. Здесь в водоемах благодаря свободной циркуляции кислорода создавались разнообразные окислительно-восстановительные условия, в которых происходило длительное, постепенное разложение (с частичным окислением) и последующее вымывание лигниноцеллюлозного вещества. В итоге накапливались липоидные компоненты, богатые восками и смолами, устойчивые к окислению. Тонкая кутикула на листьях растений свидетельствует о том, что они росли во влажном климате.

Фациальные обстановки формирования углей, а отсюда и мацеральный состав, со временем менялись даже в пределах небольшого района. Визуально это хорошо заметно в образцах керна по чередованию блестящих (витреновых) и матовых (фюзеновых) слоев. Так, в скв. Малоичская-13 на глубине 2898 м в угле тюменской свиты доминирует витринит (94 %) при отсутствии инертинита, тогда как выше по разрезу (2892 м), его доля составляет только 57 %, а инертинита 40 %. Подобные ситуации отмечаются в скв. Фестивальная-255, Майская-392, Ньюльгинская-1 и др. (табл. 1). Аналогичные случаи зафиксированы и в углях васюганской свиты. В скв. Западно-Сомовская-11 на глубине 2491 м содержание витринита и инертинита составляют, соответственно, 95 и 5 %, а немного ниже по разрезу (2493 м) 61 и 31 %. Подобные соотношения мацералов при близких глубинах отбора образцов отмечаются также в скв. Рыбальная-412, Казанская-16, Калиновая-8, Нижнетабаганская-9 и др. (табл. 2). Изменения мацерального состава прослеживаются и по простиранию угольных пластов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мацеральный состав углей наряду с литологическими исследованиями способствует уточнению фациальных условий формирования углесодержащих толщ. Кроме того, эти данные могут быть полезны в будущем нефтяникам, занимающимся разработкой месторождений углеводородного сырья. По мере истощения запасов в залежах, эти сведения необходимы будут для эффективной подземной газификации углей с целью подпитки существующих газопроводов. Известно, что в угольных бассейнах сосредоточены значительные запасы метана, соизмеримые с ресурсами традиционных месторождений газа. В связи с этим, такие бассейны следует рассматривать как метанугольные, из которых может быть извлечен метан. Подземная газификация угля - это возможность получения недорогого газообразного топлива путем преобразования органической части твердого или жидкого сырья в горючие газы при высокотемпературном (1000-2000 °С) нагреве с окислителем (кислород, воздух, водяной пар, CO₂ или их смесь). Преимущество этого процесса заключается в возможности эксплуатировать глубокозалегающие пласты угля, в том числе высокозольные и маломощные, разработка которых традиционными способами невозможна. Подземная газификация в экологическом плане предпочтительней открытой добычи угля в угольных разрезах, т.к. при этом не нарушается верхний покров Земли. Сущность технологии заключается в бурении скважин до угольного пласта. Затем в его толще создается управляемый очаг горения, в котором протекает процесс газификации. В нагнетательную скважину подают окислитель, а из другой (эксплуатационной) идет генераторный газ. На поверхности он очищается. Особенности технологии позволяют использовать даже те месторождения, разработка которых традиционными способами неэффективна [Проблемы безопасности..., 2011].

Западная Сибирь – это крупнейшая нефтегазоносная провинция, на территории которой пробурены миллионы скважин (часть из которых по разным причинам законсервирована), связанные густой сетью трубопроводов, по которым углеводороды поступают потребителям. Но постепенно по мере истощения запасов, месторождения

становятся нерентабельными. Для подпитки существующих трубопроводов, есть все условия применения нетрадиционного способа разработки угольных пластов - подземной их газификации. Так, в тюменской и васюганской свитах центральных районов Западно-Сибирского мегабассейна имеются относительно мощные (до 10-20 м) и регионально выдержанные угольные пласты. Тем более, что не требуется бурения дополнительных скважин для закачки в одни из них химических реагентов для газификации углей и подъем образовавшихся газов на поверхность по другим. Но для эффективной подземной газификации углей необходимо учитывать множество факторов, в том числе их мацеральный состав и катагенез. Так, марки углей Б и Д (начальные стадии мезокатагенеза) бедны метаном, у антрацита, наоборот, высокие концентрации, но его трудно извлечь из-за большой плотности и чрезвычайно низкой проницаемости породы. Угли, занимающие промежуточное положение между бурыми и антрацитом, являются самыми перспективными для добычи метана. Наиболее газоносны марки Г, Ж и К (средние стадии мезокатагенеза), сложенные преимущественно блестящими и полублестящими углями (витреновые и клареновые), в которых преобладают мацералы витринита. Именно такие угли встречены в рассматриваемом районе. Однако следует учитывать, что едва ли в ближайшие годы проблема подземной газификации юрско-меловых углей, залегающих на глубинах 1-3 км, заинтересует нефте- и газодобывающие компании, поскольку разведанных запасов УВ в Западной Сибири еще довольно много. Но в дальнейшем по мере их истощения, эта технология станет актуальной. Для рентабельной постановки таких работ необходимы сведения о мацеральном составе углей и уровне их катагенеза.

БЛАГОДАРНОСТИ И ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена при финансовой поддержке Проекта № FWZZ-2026-0043 программы ФНИ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Вальц И.Э., Гинзбург А.И., Крылова Н.М. Основные принципы вещественно-петрографической классификации углей // Химия твердого топлива. - 1968. - № 3. - С. 9–20.

ГОСТ Р55662-2013. Методы петрографического анализа углей. Часть 3. Метод определения мацерального состава. - М.: Стандартинформ. - 2014. - 9 с.

Жемчужников Ю.А., Гинзбург А.И. Основы петрологии углей. - М.: АН СССР. 1960, 400 с.

Проблемы безопасности и новые технологии подземной разработки угольных месторождений / В.И.Клишин, Л.В.Зворыгин, А.В.Лебедев, А.В.Савченко. – Новосибирск: Новосибирский писатель, 2011, 524 с.

Трушков П.А. Петрографическая характеристика органического вещества юрских и меловых отложений Западно-Сибирской плиты. – Новосибирск: Труды СНИИГГиМС,

Геохимические критерии перспектив нефтегазоносности мезозойских и палеозойских отложений Сибири, вып. 231, 1976, с. 47-57.

Угленасыщенность, петрографический состав и метаморфизм углей тюменской свиты Шаимского нефтегазоносного района (Западная Сибирь) // В.П.Алексеев, В.И.Русский, Ю.Н.Федоров и др. - Екатеринбург: УГГУ, 2006, 158 с.

Фомин А.Н. Мацеральный состав и условия формирования углей васюганской свиты в Чузикско-Чижапской мезоседловине (Западная Сибирь) // Успехи органической геохимии: Мат-лы 2-й Всеросс. научной конф., посв. 120-летию со дня рожд. чл.-корр. АН СССР Н.Б. Вассоевича и 95-летию со дня рожд. засл. геолога РСФСР, проф. С.Г. Неручева. – 2022, Новосибирск: ИПЦ НГУ, с. 279-283.

Фомин А.Н., Горохова В.Е. Условия формирования углей тюменской свиты на юге Западно-Сибирского мегабассейна по углепетрографическим данным //Мат-лы междунар. научной конф. «Интерэкспо Геосибирь-2023. - Новосибирск, т. 2, № 2, с. 266-272.

Фомин А.Н., Горохова В.Е. Мацеральный состав и условия формирования углей тюменской свиты на юго-востоке Западно-Сибирского мегабассейна // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2024, № 46(61), с. 23-31.