

Василь УЗІЮК

Львівський національний університет імені Івана Франка,
e-mail: coalgeol@franco.Lviv.ua

**АНАТОМІЧНА БУДОВА ТКАНИН
СТОВБУРІВ РОСЛИН КАРБОНУ УКРАЇНИ
І ЇХ РОЛЬ У ТОРФО-ВУГЛЕУТВОРЕННІ**

Описано результати визначення інтенсивності стиснення вуглевмісних порід і вуглетворної фітомаси макроскопічними геологічними порівняльними методами в різних умовах залягання решток органів вуглетворних рослин, а також вивчення прозорих шліфів різних вуглетворних тканин фітолейм і петрифікацій макропалеоботанічним порівняльним і мікропалеоботанічним анатомо-морфологічним методами. Виявлений вплив мінерального складу неорганічних порід, що складають ядра фрагментів рослин або заповнюють порожнини клітин рослинних тканин, та інтенсивності їхнього розкладення при торфо-вуглеутворенні на інтенсивність стиснення фітомаси.

Ключові слова: карбон, рослина, торф, вугілля, вітрен, фітомаса, анатомія, торфо-вуглеутворення, стиснення, розкладення.

Постановка проблеми. У відкладах карбону Донецького і Львівсько-Волинського басейнів виявлено близько 250 видів рослин (Новик, 1952, 1968; Снигиревская, 1958, 1964, 1967; Фисуненко, 1975). Згідно з М. Д. Залеським, основними вуглеутворювачами були лише плауноподібні рослини (Залесский, 1914). Інші вчені вважають, що вугілля утворилося з фітоценозів більш різноманітного складу (Снигиревская, 1958, 1964, 1967; Фисуненко, 1975; Вырвич, 1972, 1973; Иносова, 1964, 1986; Узюк, 1970, 1985, 1990, 1994; Усачева, 1954). Особливості залягання і генетичних змін решток вуглетворних рослин у вуглевмісних породах та їхні взаємовідносини автор вивчав макроскопічними геологічними та палеоботанічними методами і опробував переважно у вибоях штреків шахт, їх стінках, підшві та покрівлі вугільних пластів. А також особисто виявляв, вивчав і опробовував у керні діаметром 3,6 м, вибуреному спеціальними станками в процесі проходки вентиляційного ствола шахти 4-21 тресту «Петровськвугілля» у Донецько-Макіївському геолого-промисловому районі, добре збережені великих розмірів вуглефіковані та петрифіковані фітолейми різних вуглетворних рослин. Петрифікована деревина прикореневої частини стовбура кордаїта виявлена, вивчена і опробована у вугіллі припідшвенної частини розрізу пласта k_8 у шахті 3-Новгородівка Красноармійського геологопромислового району Донбасу, а нижня частина стовбура ботродендрона (*Bothrodendron* sp. 2) висотою 90 см з аргілітовим ядром у середині, облямованим ззовні смугою вітринізованої перидерми, виявлена у вертикальному прижиттєвому положенні, вивчена і опробована

у вибої штреку шахти Селидівської-Південної того самого району. Стовбур був нахилений до площини нашарування вугільного пласта під кутом 75–80°. Його діаметр у нижній частині 60 см, у середній 45 см і у верхній 38 см. Прикоренева частина стовбура розміщена в сірому аргіліті прошарку між пластами вугілля 1_7^a і 1_7^b на відстані 10 см від верхньої площини пласта 1_7^a . Товщина смуги вітрени, що облямовувала аргілітове ядро, у нижній частині стовбура дорівнює 1,5 см, у верхній – 0,5 см. Висота ребер у вітринізованій корі змінюється від нуля до 1 см, а ширина лунок на вмісних аргілітах – від 0,3 до 1,4 см. У нижній частині стовбура структура виражена значно гірше, ніж у верхній.

На 10 см вище від відслоненої частини описаного стовбура, згідно з нашаруванням аргіліту, горизонтально залягав фрагмент другого «стовбура» рослини *Bothrodendron* sp. 5 (можливо, гілки *Bothrodendron* sp. 2) з вуглефікованою перидермою. Його внутрішня частина була заповнена аргілітовим ядром. Відслонена довжина фрагмента стовбура (гілки) 40 см. На площині поперечного перетину форма його лінзоподібна (товщина лінзи 1 см і довжина 17 см). Товщина смуги вітрени, що облямовувала ядро аргіліту, змінюється від 1 до 3 мм. Його внутрішня площа, що прилягала до аргіліту ядра, була рівна, а зовнішня – частково ребриста. Висота ребер, що заходять в аргіліт прошарку між пластами 1_7^a і 1_7^b , значно менша, ніж у стовбура описаного ботродендрона, і змінюється від 0,5 до 1 мм, а відстань між ребрами – від 1,5 до 2 мм. По ребрах вугілля легко розділяється на призмочки шириною 2 мм і довжиною до 5 мм. Вугілля, що облямовує ядро з аргіліту, напівблискуче, зі смолистим блиском, однорідне, тріщинувате, крихке, без видимих мінеральних домішок і належить до вітрени. У прозорих шліфах мікроструктура вітрени однорідна. Макро- і мікроскопічних ознак недостатньо для точного визначення роду материнської рослини. Її сумісне знаходження зі стовбуром описаного вище ботродендрона умовно свідчить про можливу приналежність до його гілки, захороненої також у прижиттєвому положенні. Менших розмірів фрагменти стовбурів і коріння з вуглефікованими, переважно вітринізованими, тканинами зовнішньої кори (перидерми) плауно- і папоротеподібних рослин, а також деревини кордаїтів виявлені, вивчені і опробовані в керні звичайних геологорозвідувальних свердловин. Із фітолейм і проб вугілля з пластів були зроблені і детально комплексом методів вивчені прозорі поліровані з двох боків шліфи та вуглехімічні аналізи.

На відміну від попередніх дослідників, вугілля і його вихідний рослинний матеріал автор вивчав диференційовано по кожному 1,5–2 см розрізу по всій товщині пластів вуглепетрографічними, а також особисто розробленими прямими анатомо-морфологічним, мегаспоровим шліфовим та кутикулярним методами (Узіюк, 1985, 1990, 1994, 1999; Узіюк, 1998). Кількість вивчених розрізів і препаратів по різних пластах неоднакова, а саме (розрізів/шліфів): Донбас: f_1 6/451, h_7 7/315, k_8 23/1979, l_1 15/1190, l_3 19/1935, l_7 27/1659, l_8 16/630, l_8^1 28/1363, m_3 6/657, n_1 12/1288; Львівсько-Волинський басейн: n_7^a 10/473, n_7 11/58, n_7^b 6/203, n_8 11/588, n_8^b 5/213. Крім того, вивчено 2230 прозорих шліфів, виготовлених із вітринізованих фітолейм різних рослин. Усього вивчено 202 монолітні розрізи 15 вугільних пластів, 195 фітолейм, 15232 шліфи і 2542 вуглехімічні аналізи секційних вугільних проб.

Коефіцієнт макроскопічного вивчення товщини кожного розрізу дорівнює 100 %, а коефіцієнт мікроскопічного їхнього вивчення також великий і дорівнює 85–95 %.

Анатомічна будова вуглетворних рослин. Комплексними дослідженнями фактичного матеріалу доведено провідне значення анатомо-морфологічного методу для виявлення вуглеутворювальних фітоценозів і встановлена участь у цьому процесі рослин трьох типів: Lycopsidea (плауноподібні), Arthropsidea (членистостеблові) і Pteropsidea (папоротеподібні). Плауноподібні представлені деревоподібними рослинами родів лепідодендрон, лепідодфлойос, ботродендрон, сигілярія, трав'янистими селлагінелами і кореневою системою невстановленого систематичного положення – Stigmaria. Із членистостеблових у вугіллі визначені фітерали каламітів і клинолистів, а із папоротеподібних – кордаїти, власне папороть, насінна і маратієва папороть. Прижиттєва анатомічна будова тканин рослин різної систематичної приналежності була різною. Відомості про співвідношення типів тканин на поперечних перетинах стовбурів автор уперше розрахував по макрофотоілюстраціях до роботи вченого (Криштофович, 1957) і зіставлені в табл. 1, 2.

Узагальнення інформації, наведеної вище, а також викладеної в тексті і на 92 фототаблицях роботи (Узюк, Игнатченко, 1985), що узагальнила результати комплексного вивчення 2230 прозорих шліфів із вугілля та петрифікацій деревини фітолейм, а також зіставлення її з результатами підрахунків фітерального складу вугілля моноклітичних розрізів пластів Донецького і Львівсько-Волинського басейнів (14 769 препаратів) свідчить про те, що під час формування розрізів рослини, що жили на торф'яному болоті, брали участь у торфо-вуглеутворенні не всією фітомасою їх органів, не всіма частинами тіла і навіть не всією фітомасою тих органів, фітерали яких визначаємо у вугіллі методами фітерального аналізу. На масовому фактичному матеріалі доказано, що це спричинено не тільки особливостями фізіологічного призначення, анатомічної будови тканин різних органів рослин, складу елементів клітин різних частин тіла кожного органа, але й зумовленою цими особливостями здатністю елементів клітин (стінок, ядра, серединних пластинок) і цілих тканин по-різному протистояти розкладенню мікробіологічними і фізико-хімічними процесами в різних обстановках накопичення, захоронення фітомаси, перетворення її в торф і вугілля. Однозначним доказом того є дані про фрагменти вуглефікованих тканин стовбурів (фітолейм) основних вуглетворних рослин карбону, наведені в табл. 2.

У штуфах вугілля і вуглистого аргіліту, які складають вивчені моноклітичні розрізи вугільних пластів, чітко розпізнаються смуги вітрени завтовшки до 5–8 мм і його штрихи завтовшки до 1 мм, що утворилися із фрагментів кори або деревини різних рослин. Їхньою характерною особливістю є відсутність скульптури зовнішньої поверхні корових тканин і листових подушок та рубців. Тому систематичну належність рослин, із тканин яких утворилися вітрени, визначали в прозорих шліфах з допомогою мікроскопа по типових мікроструктурах раніше складеного визначника (Узюк, Игнатченко, 1985). Тканини всіх таких фрагментів стовбурів переважно дуже сплюснені. У них, як і у фітолеймах, що залягають у неорганічних породах, зберігаються вуглефікованими (переважно вітринізованими) тільки тканини листових

Таблиця 1. Зіставлення інформації про стовбури плауноподібних рослин*

Рослини	Розміри, м		Співвідношення тканин, %											
	висота	товщина	серцевина	метахсилема	протохсилема	вторинна деревина	камбій	флоєма	перинклі	внутрішня первинна з ендодермою	середня кора	зовнішня первинна	внутрішня частина	перидерма зовнішня з листовими подушками
Лепідодендрон	До 40	2, рідше 7,33	3	4	2	11	1	3	2	14	-	16	41	3
Лепідолофлос	25-30	**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ботродендрон	Подібні до лепідодендрона	Подібні до лепідодендрона	Подібні до будови лепідодендрона											
Сигілярія	До 30	-	21	-	5	4	-	7	-	-	52	-	Усього 11	-
Селагінела	Трава звичайно мала													

*За (Криштофович, 1957; Узіюк, Игначенко, 1985; Жизнь растений, 1978; Новик, 1952; Узіюк, 1990; Узіюк, 1998; Эсау, 1969).

**«<-» – дані відсутні.

Т а б л и ц я 2. Зіставлення інформації про стовбури (стебла) хвощо- і папоротегеподібних рослин*

Рослини	Розміри			Співвідношення тканин, %											
	висота, м	товщина		серпцевина	метаксилема	ксилема	первинна деревина протоксилема	вторинна деревина	камбій	кора	флоєма			вторинний луб	перидерма
Каламіти	8–10, рідко 20	Інколи більше 0,5 см		38	2	**	–	33	–	27	–	–	–	–	–
Клинолисти	Декілька метрів	0,1–1,5 см		Відсутні	–	–	12	61	1	–	–	–	–	13	12
Насінна папороть (птеридосперми)	До 22	2–4 до 20 см		25	–	30	–	–	–	–	–	Усього 45 см	–	–	–
Власне папороть	До 22	Біля основи до 1,4 м		Можливо, подібні до птеридоспермів											
Маратієва папороть	10–15	Біля верхівки 20 см		Те саме											
Кордайт	20–30 і кущі	0,6 м і більше		33	–	–	38	29	–	–	–	–	–	–	–

*За (Криштофович, 1957; Узінок, Игнагченко, 1985; Жизнь растений, 1978; Новик, 1952; Узінок, 1990; Узінок, 1998; Эсау, 1969).

**«<->» – дані відсутні.

подушок і перидерми плауноподібних рослин, складені товстостінними клітинами, насиченими стійкими до процесів розкладення речовинами типу суберину, лігніну, восків, смол, та інші тканини кори каламітів, флоєми птеридоспермів із включеннями товстостінних клітин і їхніх смугоподібних скупчень, а також переважно вторинної деревини кордаїтів, які складаються з дуже лігніфікованих і насичених смолоподібною речовиною клітин, що інколи виповнює їхні порожнини. Усі інші тканини, починаючи від серцевини і закінчуючи, мабуть, зовнішньою корою, які склали внутрішню частину стовбурів, повністю розклалися після смерті рослин і попадання її в середовище торф'яного болота. Вони виносилися з болота проточними водами в прилеглі басейни седиментації і могли бути вихідною речовиною для утворення нафти і газу. У фрагментах стовбурів, представлених у вугіллі смугами вітрени, ядра, як правило, утворені складними мікроінгредієнтами. Вони дуже сплюснуті, товщиною від ледь помітних неозброєним оком «швів», що розділяють смугу вітрени на дві частини, до перших одиниць міліметра.

За результатами комплексного вивчення фітолейм і вугілля монолітних розрізів пластів розрахована дольова участь тканин стовбурів різних рослин в утворенні вугілля (Узіюк, 1998). Доведено, що тканини стовбурів різної систематичної приналежності продукували різну кількість вітринізованої речовини. Максимальне вуглетворне значення має кордаїт. Відношення об'єму його стовбура до об'єму тканин, що утворили вітрен (з урахуванням стиснення), змінюється від 2 : 1 до 10 : 1. Тканини стовбура ботродендрона продукували меншу кількість вітринізованої речовини, представлену відношенням, що змінюється від 10 : 1 до 24 : 1. Мінімальною кількістю вітринізованої речовини представлені тканини стовбурів лепідодендрона і сигілярії (відношення, відповідно, від 82 : 1 до 416 : 1 та від 67 : 1 до 331 : 1). У каламіта відношення змінюється від 14 : 1 до 70 : 1, птеридосперма – від 10 : 1 до 50 : 1 і в стигмарії – від 13 : 1 до 67 : 1. Це значною мірою узгоджується з особливостями анатомічної будови тканин стовбурів, що утворювали вугілля, і їхньою здатністю протидіяти розкладенню процесами торфо-вуглеутворення.

Наведемо загальні відомості про анатомічну будову тканин і стовбурів рослин. Основним найдрібнішим живим елементом рослин є клітина (Есау, 1969). Вона складається з білкової плазми, або цитоплазми, ядра і оболонки. Білкова плазма містить пластиди трьох родів: хлоропласти, хромопласти і лейкопласти. Кожен з них має типовий склад і виконує свої фізіологічні функції при житті клітини. Основним елементом клітини є ядро округлої або еліпсоподібної форми. Воно, як і плазма клітини, складається з білків, але дещо іншого складу і має свою ядерну нуклеїнову кислоту. Групи клітин з однаковою організацією і формою називаються тканинами. Оболонки клітин у тканинах плауноподібних рослин родів лепідодендрон, лепідодендрон, ботродендрон і сигілярія розділяються міжклітинною органічною речовиною, що утворює серединну пластинку. Вона складається головним чином з пектинових речовин, насичується лігніном у процесі одеревеніння тканин рослини і стає дуже стійкою до біохімічних та фізико-хімічних процесів розкладення і перетворення при утворенні вітрени.

У тканинах стовбурів плауноподібних рослин клітини розміщувалися не круговими рядами, як у сучасних соснових, дубових та інших рослин,

а радіальними і тангентальними рядами, розділеними серединними пластинками. Вони добре спостерігаються з допомогою мікроскопа у вертикальних прозорих вугільних шліфах при збільшеннях 250–500^x і поділяються на радіальні, що обмежують ряди клітин по радіусу, і тангентальні – орієнтовані переважно перпендикулярно до радіальних. У живих клітинах і тканинах серединні пластинки були ниткоподібними і прямолінійними. Процеси біохімічного та фізико-хімічного розкладення і перетворення тканин рослин у торф'яних болотах і в надрах Землі збільшували товщину серединних пластинок.

Огляд наукових праць і невирішені проблеми. Захоронені в надрах тканини різних органів рослин вуглефікувалися під дією температур і тисків, які закономірно збільшувалися зі збільшенням глибини їхнього залягання. Головним чинником фізико-хімічних змін рослинної органічної речовини більшість учених визнає температуру. Тиски сприяють відтисканню води і відповідному збільшенню вуглефікації переважно при перетворенні торфу в буре вугілля. На кам'яновугільній і антрацитовій стадіях збільшення тисків зменшує відхід продуктів хімічного перетворення фітомаси і головним фактором метаморфізму стає температура. Односпрямована ущільнювальна дія тисків зберігається на всіх етапах перетворення фітомаси у вугілля. На тканини органів рослин у надрах Землі діють різноспрямовані тиски, головними з яких є вертикальний і горизонтальний, тобто перпендикулярний і паралельний до площин нашарування неорганічних порід і вугілля. Під дією тисків та процесів торфо-вуглеутворення зменшувалася товщина їхніх покладів і деформувалася прижиттєва прямолінійна форма серединних пластинок. Проблема виявлення інтенсивності стиснення неорганічних порід і фітомаси при утворенні вугілля досить складна. Її наукове вирішення сприятиме подальшому пізнанню процесів торфо-вуглеутворення, інтенсивності зміни тканин рослин, кількісній оцінці фітомаси, що накопичилася в торф'яному болоті, залишилася в надрах Землі у вигляді вугілля, була розкладена і винесена з торф'яного болота в прилеглі басейни седиментації, перетворена там у нафту і газ, а також прогнозній оцінці колекторських властивостей вуглевмісних порід і місцезнаходжень вуглеводнів у земній корі. Учені приділяли і приділяють велику увагу вирішенню цієї проблеми. Вони визначали дію лише вертикальних тисків вуглевмісних порід. У роботі В. Ю. Забігайла (Забігайло, 1974) наведено показники скорочення початкового об'єму осаду при утворенні порід для середніх марок метаморфізму вугілля: пісок у пісковик – в 1,3 раза, алеврит в алевроліт – в 1,9 раза, глина в аргіліт – у 2,3 раза, торф у вугілля – у 5 разів. П. В. Зарицький (Зарицкий, 1965) визначив величину стиснення фітомаси у 2,6–5,3 раза по мінеральних конкреціях у вугіллі, А. С. Прокопченко (1967) – у 3,5–4,5 раза по смоляних тілах у вугіллі, О. І. Єгоров (Егоров, 1969) – у 3,04–4,2 раза по стисненню оболонок спор і пилку у вугіллі, І. Б. Волкова (1965) – у 5,2 раза, О. Штуцер (Stutzer, 1940) – у 2,2 раза по мінеральних включеннях у вугіллі, Ю. М. Приходько (1963) – у 5,9 раза по породних прошарках у вугільному пласті, В. Н. Волков (1973) – у 2,4 раза по втраті води при утворенні вугілля з торфу, М. І. Попов (1959) – у 2,2 раза по зміні маси горючої речовини вугілля. Наведені великі розбіжності величин стиснення фітомаси при вуглеутворенні (від 2,2 до 5,9) зумовлені, на нашу думку, вивченням і зіставленням дослід-

никами не окремих елементів вуглефікованих клітин тканин простих мацералів, а сформованих з їхніх сумішей складних літотипів вугілля з включеними в ньому неорганічними або органічними речовинами, які також змінювалися при седиментогенезі, діагенезі та катагенезі вугілля. Тому отримані ними коефіцієнти стиснення фітомаси є не прямими, а відносними. Автор визначив інші показники інтенсивності стиснення неорганічних осадів при перетворенні їх у породи і фітомаси переважно у газове вугілля. Вони будуть описані далі після розгляду результатів досліджень, методів визначення і зіставлені в табл. 5. Знання коефіцієнтів стиснення вуглевісних порід і вуглетворної фітомаси вертикальними і горизонтальними тисками надр Землі сприятиме визначенню інтенсивності зменшення колекторських властивостей стадії їх седиментогенезу і можливої тектонічної порушеності.

Результати досліджень. 1. Методологія визначення інтенсивності стиснення неорганічних порід ядер фітолейм вуглетворних рослин. Описані вище різні тканини померлих стовбурів плауноподібних рослин, що потрапили у водне середовище, розкладалися мікробіологічними процесами і перетворювалися в різні речовини з різною швидкістю. Найменш стійкі тканини серцевини, метаксилеми, протоксилеми, вторинної деревини, камбію, флоєми, перициклу, кори внутрішньої і зовнішньої повністю розкладалися до утворення гумінових, ульмінових та інших кислот і виносилися проточними водами в басейн седиментації. Утворену таким чином пустоту заповнювали неорганічні осадки різного складу, літофіковані в аргіліти, алевроліти та пісковики, які нині представлені ядрами у фрагментах колишніх стовбурів. Найстійкіші тканини внутрішньої і зовнішньої перидерми збереглися і поступово перетворилися в смугу вітрону, що нині облямовує породне ядро. Однозначним доказом того є класично збережений у вертикальному прижиттєвому положенні описаний вище стовбур ботродендрона, рештки інших стовбурів, захоронених горизонтально до площин нашарування вмісних порід, а також зруйнованих стовбурів, представлених вітринізованими фітолеймами розмірами від одиниць до десятків сантиметрів.

Наявність прижиттєво стоячих і мертво лежачих рештків стовбурів вуглетворних рослин з породними ядрами, облямованими смугами вітрону, – це класичний об'єкт досліджень для наступного методично простого макроскопічного вирішення проблеми інтенсивності стиснення порід різного складу в надрах Землі. Спочатку визначаємо прижиттєвий діаметр фосилізованої частини стиснутого стовбура облямуванням породного ядра тонким дротом по всьому його периметру. Потім розпрямляємо тонкий дріт і надаємо йому округлої прижиттєвої форми фосилізованої частини стовбура. Її прижиттєвий діаметр заміряємо лінійкою по уявному «екватору» від одного краю дроту до другого і отримуємо величину «а». Найбільшу товщину породного ядра заміряємо лінійкою і отримуємо другу необхідну величину «в». Ділимо діаметр фосилізованої частини стовбура (величину «а») на товщину породного ядра (величину «в») і отримуємо коефіцієнт стиснення породи, що складає ядро стовбура ($K_{ст} = a/v$).

Ядра вивчених автором решток стовбурів і, можливо, гілок вуглетворних рослин складені аргілітами, алевролітами і пісковиками. Поряд із петрографічним складом і літологічними особливостями порід ядер інтенсивність їхнього стиснення залежить також від особливостей залягання фрагментів

стовбурів і гілок у вмісних породах та їхнього складу. Однозначним доказом того є описане вище сумісне знаходження у вибої штреку пласта 1₇ шахти Селидівської-Південної стовбура ботродендрона (*Bothrodendron* sp. 2) у вертикальному прижиттєвому положенні та прилеглого до нього горизонтально зануреного фрагмента другого стовбура (*Bothrodendron* sp. 5), можливо, гілки *Bothrodendron* sp. 2, та описані далі особливості стиснення порід їхніх ядер. Так, найменш змінену форму мало аргілітове ядро ботродендрона, захороненого у вертикальному прижиттєвому положенні в аргілітах прошарку між пластами вугілля 1₇^н і 1₇^в у шахті Селидівській-Південній Красноармійського геолого-промислового району Донбасу. Його діаметр у нижній частині стовбура 60 см, у середній 45 см, у верхній 38 см, а форма на площині поперечного перетину майже округла, мабуть, прижиттєва. Статичні тиски дуже потужної товщі порід карбону, пермі, тріасу, юри, крейди, третинної і четвертинної систем з великою інтенсивністю ущільнювали глинистий осад міжпластового прошарку і майбутнього аргілітового ядра стовбура. Бокові тиски, перпендикулярні до статичних, були також великими і достатніми для збереження прижиттєвої їхньої округлої форми майбутнього ядра стовбура та смуги вітрени, що його облямовувала. За результатами комплексних петрологічних, літологічних, технологічних і спорово-пилкових досліджень, це споріднені породи одночасного седиментогенезу, однакового протокатагенезу і мезокатагенезу. За наявною формою ядра ботродендрона визначити інтенсивність стиснення аргіліту неможливо. Детальним макроскопічним вивченням смуги вітрени, що облямовує аргілітове ядро, встановлена можливість прогнозного встановлення інтенсивності стиснення за відстанню між тріщинами ендокліважу в смузі вітрени (фіг. 7, 8). Вона розбита великою кількістю тріщин, орієнтованих майже перпендикулярно до зовнішньої стінки ядра, тобто майже паралельно до площин нашарування глинистого осаду. За даними Г. О. Іванова і Л. І. Сарбєєвої (1939, 1940), вони виникають у вугіллі в результаті інтенсивного стиснення і обезводнення вуглетворної фітомаси. Відстань між тріщинами ендогенного кліважу в смузі вітрени дуже мала – 1–3 мм, що свідчить про значне стиснення неорганічного осаду і фітомаси. Глибину доінверсійного залягання, групу метаморфізму і температуру вуглеутворення можна визначити за результатами вуглехімічних і петрологічних досліджень вугілля. Комплексними лабораторними дослідженнями встановлені показники складу і властивостей вітрени, що утворився із кори ботродендрона, і вугілля пласта 1₇^н, % (вітрен/вугілля): W^a – 10,6/4,8–5,3; A^c – 6,2/1,4–5,5; S^c_{зар} – 2,0/1,1–1,6; V^r – 33,3/36,7–39,8; нелеткий залишок – порошок/зліплений; C^o – 79,9/78,6–79,2; H^o – 4,9/5,1–5,4; (N+O)^o – 15,2/15,4–16,2; R^a_{max} – 6,7/7,6–7,8; стадія метаморфізму – O₃/II; марка вугілля – буре, близьке до кам'яного/довгополум'яне; група метаморфізму – ОБ/1Д–2Г. Наведена інформація свідчить про прогнозну доінверсійну глибину залягання стовбура ботродендрона і вугілля пласта 1₇ 2–2,5 км і температуру утворення вугілля 65–100 °С (Левенштейн, Спирина, 1991). У таких термобаричних умовах неорганічний осад перетворювався в аргіліт і фітомаса у вітрен та вугілля.

Фрагмент другого стовбура (можливо, гілки *Bothrodendron* sp. 2) із відслоненою довжиною 40 см, що залягав горизонтально в аргілітах, які вміщували стовбур ботродендрона (*Bothrodendron* sp. 2), мав на поперечному перетині форму лінзи з довгою віссю 17 см і короткою – 7 см. Встановлена автором

за розробленою методикою прижиттєва округла форма поперечного перетину фрагмента стовбура (гілки?) дорівнює 12 см, а коефіцієнт стиснення – 1,7 (12/7). Логічно припустити, що коефіцієнт вертикального стиснення аргіліту ядра стовбура *Bothrodendron* sp. 2 також дорівнює 1,7 за умови доінверсійного залягання фрагментів стовбурів і вугілля пласта на глибині 2–2,5 км.

У керні діаметром 3,6 м, складеному грубозернистим пісковиком, виявлений фрагмент стовбура вуглетворної рослини з відслоненою довжиною 14 см (фіг. 1). Усі його тканини, крім внутрішньої і зовнішньої перидерми, були повністю розкладені і винесені проточними водами, а їхнє місце зайняв привнесений водою грубозернистий осад, аналогічний до того, що захоронив фрагмент стовбура. Утворене з грубозернистого пісковика ядро було по всьому периметру облямоване смугою вітрени товщиною 5–30 мм, утвореного з тканин внутрішньої і зовнішньої перидерми. Внутрішня поверхня смуги вітрени, що прилягала до пісковика ядра, гладка, рівна, а зовнішня, що контактувала безпосередньо з вмісним грубозернистим пісковиком, нерівна з «вусоподібними» виростами довжиною до 20 мм. Це свідчить про можливу приналежність рослини до роду ботродендрон (*Bothrodendron* sp. 4), описаного вище. Ядро стовбура частково стиснене, форма округло-овальна з довгою віссю 57 мм, короткою – 37 мм. Реанімований за авторським методом діаметр округлого прижиттєвого стовбура дорівнює 45 мм, а коефіцієнт стиснення ядра – $45/37 = 1,2$, тобто, він менший від коефіцієнта стиснення аргіліту, що складає описане вище ядро гілки ботродендрона.

Друга фігура представляє поперечний перетин фрагмента стовбура, мабуть, кордаїта (*Cordaites* sp.) із вітринізованими стійкими до процесів розкладення тканинами кори і деревини та менш стійкими тканинами серцевини, розкладеними і винесеними в басейн седиментації. Він залягав на горизонтальній площині нашарування пісковика керна діаметром 3,6 м. Одночасно з розкладенням нестійких тканин стовбура відбувалося заповнення порожнини, що утворювалася, осадом піску і захоронення ним його фрагмента. Із тканин кори і деревини утворилися дві смуги вітрени, розділені породним ядром і прилеглі одна до одної в місцях його відсутності. Довга вісь породного ядра дорівнює 25 мм, коротка – 17 мм, реанімований діаметр – 20 мм, а коефіцієнт стиснення пісковика – $20/17 = 1,2$.

Фрагмент гілки рослини, показаний на третій фігурі, виявлений не на площині нашарування пісковика в керні діаметром 3,6 м, як показано на другій фігурі, а на його боковій площині товщиною 1,85 м. Гіпотетично він мав продовження в «кільце» керна, можливо, до його середини. Відсутність по краях ядра двох смуг вітрени, майже з'єднаних в одну, і мала їхня товщина (до 1 мм) свідчать про вірогідну приналежність рослини до плауноподібного типу (*Licopsida* sp. 1), представленого молодою гілкою з тонкою зовнішньою корою, що перетворилася в тонку смужку вітрени. У керні коротка вісь стиснутого ядра породи дорівнює 20 мм, довга – 30 мм, реанімований діаметр – 25 мм, а коефіцієнт стиснення пісковика – $25/20 = 1,3$.

На четвертій фігурі показаний поперечний перетин фітолейми гілки кордаїта (*Cordaites* sp. 2) із розкладеними паренхімними тканинами серцевини, заміщеними пісковиком, і вітринізованими тканинами деревини (Узюк, Игнатченко, 1985). Вона залягала в керні діаметром 3,6 м на площині нашарування

пісковіку, мала видимої довжини 1 м, ширину в стисненому стані 7 см, дві смуги вітрени товщиною 3 і 8 мм, що облямовували ядро з пісковіку, та одну його смугу поза ядром товщиною 18–20 мм і довжиною 8 см з кожного боку фітолейми. Зовнішня поверхня вітринізованої ксилеми рівна, а на ядрі частково виражена ребриста скульптура з плоскими ребрами шириною до 1 см, розділеними борозенками шириною 2–3 мм і глибиною до 3 мм. Це типове внутрішнє ядро кордаїта – артізія. Відстань між тріщинами енокліважу на горизонтальній поверхні смуги вітрени змінюється від 4 до 7 мм. Довга вісь оvoidного ядра пісковіку дорівнює 85 мм, коротка – 20 мм, реанімований округлий прижиттєвий діаметр – 55 мм, а коефіцієнт стиснення – $55/20 = 2,7$.

Фрагмент гілки, мабуть, кордаїта (*Cordaites* sp. 3), із частково вуглефікованою (лігнітизованою) первинною деревиною в середині (умовне «ядро»), облямованою інтенсивно вуглефікованою смугою блискучого вітрени, показаний на п'ятій фігурі. Довга вісь стиснутого ядра фітолейми дорівнює 90 мм, коротка – 20 мм, реанімований діаметр – 60 мм, коефіцієнт стиснення – $60/20 = 3$.

На боковій поверхні ядра 3,6 м відслонений поперечний перетин стиснутого стовбура рослини середнього карбону Донбасу (*Licopsida* sp. 2) з інтенсивно розкладеними і винесеними в басейн седиментації тканинами його внутрішньої частини, заміщеними глинистим осадам, перетвореним в аргіліт. Зовнішні, найстійкіші до розкладення тканини перетворилися в смужку чорного блискучого вітрени товщиною 1–3 мм, що облямовував ядро фітолейми. Довга вісь стиснутого фрагмента рослини дорівнює 90 мм, коротка – 13 мм, реанімований округлий прижиттєвий діаметр – 60 мм, а коефіцієнт стиснення – $60/13 = 4,6$ (фіг. 6). Інформація про коефіцієнти стиснення порід ядер різних фітолейм зіставлена в табл. 3.

2. Методологія визначення інтенсивності стиснення вуглетворної фітомаси. Для визначення інтенсивності стиснення вуглетворної фітомаси під час торфо-вуглетворення автор уперше у вугільній геології розробив спеціальний мікропалеоботанічний метод. Метою розробки було підвищення точності визначення коефіцієнта стиснення вуглетворних тканин мікроскопічним вивченням особливостей зміни елементів їхньої клітинної будови в різних умовах перетворення у вугілля. Він точніший від розроблених попередніми вченими тому, що розроблений на наступній генетичній основі. У вуглевмісних породах, кам'яному вугіллі та на фітолеймах Донецького і Львівсько-Волинського басейнів у значній кількості трапляються смуги вітринізованих тканин різної систематичної приналежності і ступеня розкладення з добре, посередньо і погано збереженою клітинною будовою. Клітини живої, у майбутньому вуглетворної рослини склалися із протоплазматичного ядра, облямованого лігніно-целюлозними стінками. У поперечному перетині тканин вони мали форму прямокутника або квадрата із прямолінійними стінками і розміщувалися в органі рослини радіальними рядами, розділеними радіальними і тангентальними прямолінійними серединними пластинками. У процесі торфо-вуглетворення під дією мікробіологічних, фізико-хімічних процесів і тиску вуглевмісних порід клітини деформувалися, їхні стінки і ядра поступово розкладалися, а прямолінійні серединні пластинки згиналися і отримували переважно синусоїдну або іншу неправильну форму. Завдяки дуже великій стійкості до процесів торфо-вуглетворення вони зберігаються

Т а б л и ц я 3. Інтенсивність стиснення порід ядер фітолейм із вуглевмісних порід, за даними В. І. Узіюка

Фітолейма	Фігура	Критерій для визначення – порода ядра	Розміри осей ядра, мм		Реанімований діаметр ядра, мм	Коефіцієнт стиснення	Місце відбору проби
			Коротка	Довга			
Bothrodendron sp. 2, стовбур	7, 8	аргіліт	490	490	490	1,0	Шахта Селидівська-Південна, аргіліт
Bothrodendron sp. 5, гілка?	–	аргіліт	70	170	120	1,7	Там само
Bothrodendron sp. 4	1	пісковик	37	57	45	1,2	Керн діаметром 3,6 м, пісковик
Cordaites sp.	2	пісковик	17	25	20	1,2	Там само
Licopsida sp. 1	3	пісковик	20	30	25	1,3	“
Cordaites sp. 2	4	пісковик	20	85	55	2,7	“
Cordaites sp. 3	5	деревина лігнітизована	20	90	60	3,0	“
Licopsida sp. 2	6	аргіліт	13	90	60	4,6	“

Примітка. Середні значення коефіцієнта стиснення порід ядер фітолейм: аргіліту – 3,1; пісковіку – 1,6.

у вітринізованих тканинах до повного розкладення ядра, стінок клітин і тому є надійними природними мікропалеоботанічними маркерами. Інтенсивність деформації міжкліткових серединних пластинок залежить головним чином від величини статичних тисків порід, що покривають вуглефіковані тканини окремих фітолейм і вуглетворну фітомасу пластів вугілля. Зі збільшенням товщини і статичного тиску неорганічних порід, що покривають фітолейми і вуглетворну фітомасу, ступінь стиснення серединних пластинок і їхня хвилястість збільшуються.

Інтенсивність стиснення вуглетворної фітомаси визначали таким чином. Із вітринізованих тканин фітолейм і штуфів вугілля зі смугами вітренив виготовляли вертикальні двосторонньо поліровані прозорі шліфи. Вивчали їх з допомогою прохідного світла мікроскопа при малих (до $100\times$), середніх ($100\text{--}300\times$) і великих ($500\times$ і більше) збільшеннях. Визначали у шліфі мікроділянки вітрени різного ступеня розкладення тканин, з яких утворилася смуга вітрени. Вивчали при малих, середніх і великих збільшеннях елементи клітинної будови тканин (ядро, стінки, радіальні і тангентальні серединні пластинки). Із допомогою препаратододія, закріпленого на столикові мікроскопа, визначали координати мікроділянок з добре, посередньо і погано збереженою прижиттєвою мікроструктурою вітринізованих тканин. При великих збільшеннях багаторазово якісно фотографували їх. На виготовлених фотографіях вибирали ділянки з добре збереженими тангентальними і радіальними серединними пластинками різного ступеня стиснення, придатні для визначення довжини серединних пластинок. Лінійкою по прямій лінії заміряли довжину синусоїдально стиснутої серединної пластинки (величина «в»), а курвіметром – довжину серединної пластинки, розтягнутої в пряму лінію, тобто в прижиттєвий стан вітринізованої тканини (величина «а»). Коефіцієнт стиснення розраховували за формулою: $K_{\text{ст}} = \text{а/в}$. За відсутності курвіметра можна придати тонкому дротові форму зігнутої серединної пластинки в межах досліджуваної ділянки, потім придати дротові прямолінійну форму і по ньому заміряти прижиттєву довжину серединної пластинки, тобто величину «а».

Описаним мікропалеоботанічним методом оцінена інтенсивність стиснення вуглетворних вітринізованих тканин ботродендронів, сигілярій, птеридоспермів і кордаїтів по фотографіях мікроструктур, зроблених при мікроскопічних дослідженнях зі збільшенням в 1280 разів. Представлені в статті не кольорові фотографії мікроструктур зроблені при збільшенні мікроскопа в 550 разів.

Вітринізовані тканини внутрішньої та зовнішньої перидерми ботродендронів вивчені по прозорих шліфах, зроблених із двох фітолейм, відібраних у гірничих виробках шахт і з керна спеціальної свердловини діаметром 3,6 м. На сьомій і восьмій фігурах представлені натуральні величини зовнішнього вигляду і товщини смуги вітрени (5–11 мм), що облямовувала фрагмент описаного вище стовбура ботродендрона (*Bothrodendron* sp. 2), захороненого в прижиттєвому вертикальному положенні в прошарку аргіліту між пластами $1_7^{\text{н}}$ і $1_7^{\text{в}}$ у шахті Селидівській-Південній. У прозорих шліфах при збільшенні $550\times$ виявлені добре, посередньо і погано збережені елементи клітинної будови тканин зовнішньої і внутрішньої перидерми. На фіг. 9 представлений вітрени із добре збереженою мікроструктурою зовнішньої перидерми. У середині

кожної клітини добре збереглася чорна вуглефікована речовина ядра, облямована сірими вітринізованими їхніми стінками. Радіальні ряди клітин розмежовані майже прямолінійними чорними серединними пластинками. Вони прилягали із зовнішнього боку стовбура до аргіліту, що його містить, а із внутрішньої – до генетично спорідненого аргіліту, що замістив розкладені тканини серцевини, деревини, внутрішньої кори і утворив ядро стовбура. У процесі діагенезу осаду і утворення з нього аргіліту вони частково змінилися під дією горизонтально спрямованих тисків. Тангентальні серединні пластинки знаходилися в площині, перпендикулярній до площини нашарування породи і паралельній до статичних тисків аргіліту, що вмщував стовбур та складав його ядро. Вони не деформовані, прямолінійні. Радіальні серединні пластинки розміщувалися в тканинах перидерми в площині, паралельній до площини нашарування породи та перпендикулярній до бокових тисків вмісних порід. Вони майже не деформовані горизонтальними тисками літифікації глинистого осаду до стадії аргіліту, мають майже прямолінійну форму і середній коефіцієнт стиснення, що дорівнює 1,1. Поряд з аргілітовим ядром у фрагменті стовбура ботродендрона добру збереженість мікроструктури вітринізованих тканин перидерми зумовлювало також його вертикальне положення в аргілітовому прошарку і наявність у клітинах вуглефікованої мало зруйнованої речовини їхніх ядер.

У лівій частині фіг. 10 показані інтенсивніше, ніж на фіг. 9, вуглефіковані тканини перидерми із частково вуглефікованою чорною речовиною ядер клітин і серединними пластинками. Тут середній коефіцієнт стиснення фітомаси, розрахований по чорній речовині ядер клітин, дорівнює 1,3. Більша права частина десятої фігури представляє інтенсивніше розкладені тканини зовнішньої перидерми. Чорна вуглефікована речовина ядер клітин представлена поодинокими включеннями неправильної форми, а основу складають сірі продукти вітринізованих стінок клітин, «пронизані» ниткоподібними розкладеними радіальними серединними пластинками. Розрахований по них середній коефіцієнт стиснення вітринізованих тканин відносно малий і дорівнює 1,2. На фіг. 11 представлені сильно розкладені вітринізовані тканини внутрішньої перидерми ботродендрона. Вуглефікована чорна речовина ядер клітин збереглася у вигляді окремих включень неправильної форми в сірій основній масі, складеній вітринізованими стінками клітин. Радіальні ниткоподібні серединні пластинки по-різному деформовані і зруйновані. Визначений по них коефіцієнт стиснення змінюється від 1,2 до 1,4 і в середньому дорівнює 1,3. Загалом це найбільш розкладені і стиснені вітринізовані тканини перидерми в прижиттєво вертикально захороненому стовбурі ботродендрона.

Добре збережена фітолейма ботродендрона (*Bothrodendron* sp. 3) виявлена, вивчена і опробувана в алевролітах середнього карбону Донбасу, перебуваних спеціальною свердловиною з діаметром 3,6 м. Довжина відслоненої частини сплющеного лежачого стовбура фітолейми 1 м, ширина 0,06 м, а товщина смужки вітрени, що облямовує алевролітове ядро, дорівнює 1–1,5 мм. Фрагмент стовбура лежав на горизонтальній площині нашарування алевроліту і частково перекривався ним. Радіальні ряди клітин розміщувалися в площині, перпендикулярній до горизонтальної площини нашарування алевроліту, і деформувалися тисками всіх порід, що залягали вище. Тому радіальні

серединні пластинки і вуглефікована речовина ядер клітин деформовані незрівнянно більше, ніж у тканинах описаного вище ботродендрона (*Bothrodendron* sp. 2). На фіг. 12 представлені дуже змінені тканини перидерми. Чорна вуглефікована речовина ядер клітин збереглася у вигляді включень неправильної форми, облямованих світло-сірими і білими дуже деформованими серединними пластинками. Заміряний по них коефіцієнт стиснення вітринізованих тканин перидерми змінюється від 1,6 до 1,8 і в середньому дорівнює 1,7.

Інтенсивність стиснення вітринізованих сигілярій вивчена по шліфах, зроблених із трьох фітолейм – *Sigillaria* sp. 1, *Sigillaria ovata* Sauveur і *Sigillaria* (*Eusigillaria*) *scutellata* Brongniart. Усі вони представлені уламками стовбурів, що залягали горизонтально на площинах нашарування вмісних порід. Радіальні ряди клітин і серединні пластинки розміщувалися в тканинах перпендикулярно до площин нашарування вмісних порід та їхніх статичних тисків, а тангентальні серединні пластинки – паралельно до них. Інтенсивність стиснення вітринізованих тканин представлена в шліфах особливостями морфології радіальних серединних пластинок.

Фітолейма *Sigillaria* sp. 1 відібрана в шахті ім. О. Ф. Засядька з аргілітів покрівлі пласта 1₇¹ середнього карбону Донбасу. Відслонені у вмісних аргілітах довжина фітолейми дорівнює 0,57 м, ширина 0,39 м, товщина смужки вітрени, що залягала на аргіліті, 2–3 мм (Узюк, Игнатченко, 1985). Найменш стиснені вітринізовані тканини перидерми показані на сімнадцятій фігурі. Відносно тонкі стінки клітин тут облямовують товсту чорну вуглефіковану речовину їхніх ядер. Визначений по радіальних серединних пластинках коефіцієнт стиснення тканин дорівнює 1,3. Переважно в правій і частково в лівій частинах сімнадцятої фігури спостерігаємо посередньо стиснені тканини з меншою кількістю вуглефікованої речовини ядер клітин і тоншими їхніми стінками. Коефіцієнт стиснення тканин змінюється від 2,5 до 3,4 і в середньому дорівнює 3,0. Найбільш розкладені та стиснені тканини вітринізованої перидерми представлені на тринадцятій фігурі. Стінки клітин у вітрени переважно товстіші, ніж вуглефікована речовина їхніх ядер, а радіальні серединні пластинки дуже стиснені і мають синусоїдальну форму. Коефіцієнт стиснення тканин дуже великий, змінюється від 3,7 до 5,0 і в середньому дорівнює 4,3.

Фітолейма *Sigillaria* (*Eusigillaria*) *ovata* Sauveur відібрана з алевролітів середнього карбону Донбасу, перебудурених спеціальною свердловиною з діаметром керна 3,6 м. Вона залягала на горизонтальній площині нашарування вмісних алевролітів із відслоненими довжиною 1,2 м, шириною 0,4 м і товщиною смуги вітринізованої перидерми 1–1,5 мм. У шліфах добре спостерігається «вибіркове» розкладення вітринізованих тканин, представлене їхніми фрагментами з мікроструктурами, дуже близькими до наявних у живій перидермі, які періодично змінюються фрагментами з дуже інтенсивно розкладеними стінками клітин, речовиною їхніх ядер і навіть радіальними серединними пластинками.

У середині чотирнадцятої фігури з лівого верхнього кута до правого нижнього простягається фрагмент частково розкладеної перидерми з дуже добре збереженими радіальними і тангентальними стінками клітин, прямолінійними ниткоподібними радіальними і тангентальними серединними пластинками і рештками вуглефікованої речовини ядер клітин. Загалом це

яскраве підтвердження того, що в живих тканинах перидерми вуглетворних плауноподібних рослин карбону клітини тканин мали правильну, майже прямолінійну форму і розмежовувалися прямолінійними радіальними і тангентальними серединними пластинками. Лівий нижній і правий верхній кути представляють дуже інтенсивно розкладені всі елементи клітинної будови тканин і утворену з них майже безструктурну масу вітрену. Коефіцієнт стиснення найменш розкладених тканин із майже прямолінійними радіальними серединними пластинками близький до 1, а розрахований по частково збережених радіальних серединних пластинках у дуже розкладених тканинах на фотографіях мікроструктур, збільшених до 1 280 разів, змінюється від 2,4 до 3,0 і в середньому дорівнює 2,8.

Дуже сильно розкладені клітини та зруйновані радіальні серединні пластинки показані на шістнадцятій фігурі. У лівому верхньому і правому нижньому кутках дуже розкладені серединні пластинки представлені роз'єднаними уламками різної форми, захороненими в однорідній речовині, утвореній із вітринізованих і геліфікованих стінок клітин. По діагоналі з лівого нижнього кутка фігури до правого верхнього прослідковуються дві менш зруйновані дуже стиснені радіальні пластинки. Розрахований по них коефіцієнт стиснення вітринізованих тканин змінюється від 2,6 до 3,0 і в середньому дорівнює 2,8. Фітолейма *Sigillaria* (*Eusigillaria*) cf. *scutellata* Brongniart відібрана в шахті ім. О. Ф. Засядька з аргілітів покрівлі пласта 1₇¹ середнього карбону Донбасу. Вона мала відслонену довжину 0,57 м, ширину 0,28 м і товщину смужки вітринізованої перидерми 1–2 мм (Узюк, Игнатченко, 1985). Загалом мікроструктури вуглефікованої перидерми дуже різні за процесами перетворення тканин, збереженістю елементів клітин і їх будовою. Мікрофотографія п'ятнадцятої фігури представляє по-різному змінені тканини перидерми тільки процесами вітринізації. У лівому верхньому кутку клітини найменш змінені, з добре збереженими, майже прижиттєвої форми клітинами, радіальними і тангентальними їхніми стінками та ниткоподібними тангентальними і радіальними серединними пластинками. Значно більш розкладені тканини показані в середній частині фігури і особливо в її верхньому кутку. Радіальні ниткоподібні серединні пластинки тут синусоїдально зігнуті в правій верхній частині і значно розкладені. Коефіцієнти стиснення вітринізованих тканин різні. У верхньому лівому кутку з найменш розкладеними клітинами, у частині фігури, що примикає до лівого кута, і в середній її частині, коефіцієнт стиснення тканин залежить від інтенсивності їх розкладення і дорівнює в середньому 1,1. Тканини нижньої, середньої частин і правого верхнього кута мають значно більш розкладені та деформовані радіальні серединні пластинки. Коефіцієнт стиснення вітринізованих тканин тут змінюється в межах від 1,36 до 1,5 і в середньому дорівнює 1,4.

Фітолейма стовбура насінної папороті (*Pteridospermae* sp.) виявлена, вивчена і опробувана в керні діаметром 3,6 м, вибуреному спеціальною свердловиною під майбутній стовбур шахти в Донбасі. Вона залягала горизонтально в аргілітах з відслоненою довжиною 0,8 м, шириною 0,08 м і середньою смужкою вітрену на аргілітах 1 мм. Вітринізовані тканини перидерми дуже змінені процесами вуглетворення. У більшості тканин паренхімні клітини повністю розклалися й утворили безструктурну речовину вітрену. Стійкіші

до процесів розкладення спеціальні захисні склеренхімні клітини своєрідних «мускульних» волокон частково розклалися і перетворилися в тіла різної, переважно округло-овальної форми. Спорадично трапляються подібні по-різному стиснуті включення з ниткоподібними рештками вуглефікованої речовини ядер у середині клітин. Реанімована по них прижиттєва форма клітин використана для визначення їхнього стиснення. На фіг. 18 показані рештки переважно двох клітин, по-різному змінених процесами вітринізації. У роботі (Узюк, Игнатченко, 1985) наведена велика їхня кількість. Визначений по них коефіцієнт стиснення вуглефікованої фітомаси в середньому дорівнює 15.

Вивчені фітолейми кордаїтів відрізняються від описаних вище тим, що вони представляють вуглефіковані тканини не кори (перидерми), а деревини (ксилеми). Вітринізовані тканини ксилеми кордаїтів вивчені по шліфах, зроблених з вугілля фітолейми кордаїта (*Cordaites* sp. 1) довжиною 3,6 м, шириною 0,35 м і товщиною смуги вуглефікованої ксилеми 15–30 мм. Вона залягала в пісковикові середнього карбону Донбасу, перебуреному спеціальною свердловиною з діаметром керна 3,6 м. Тканини ксилеми переважно дуже розкладені процесами торфо-вуглеутворення. Усі елементи клітин стиснені та розміщені довгою віссю субпаралельно до довгої осі смуги вітрину (фіг. 19). Поодинокі посередньо збережені клітини мають помаранчевий і жовтий колір, округло-овальну форму і складаються зі стінок, дуже збагачених смолоподібною речовиною, та включень червоної і чорної органічної речовини, можливо, ядер, у реліктах порожнин (Узюк, Игнатченко, 1985). Визначений по них коефіцієнт стиснення тканин змінюється і в середньому дорівнює 5.

До петрифікованих належать ті тканини рослин, клітини яких частково або повністю заповнені кварцом, кальцитом та іншими мінералами. Вони детально комплексно вивчені по двох фітолеймах стовбура кордаїта – *Cordaites* sp. 2 і *Cordaites* sp. 3. Вони залягали горизонтально, паралельно до площин нашарування порід, були виявлені, вивчені та апробовані в пісковикові середнього карбону Донбасу, перебуреному спеціальною свердловиною з діаметром керна 3,6 м. Фітолейма *Cordaites* sp. 2 мала відслонену довжину 1 м, повну ширину 0,07 м і товщину смуги вітринізованої ксилеми, що облямовувала стиснене ядро пісковіку, 0,07 м (Узюк, Игнатченко, 1985). Фітолейма *Cordaites* sp. 3 залягала в кінці фітолейми *Cordaites* sp. 2, була її продовженням і мала довжину 0,08 м та ширину 0,05 м. Вітринізована смужка ксилеми на ній макроскопічно не виявлена. Комплексними макро- і мікроскопічними дослідженнями обох фітолейм встановлено, що ступінь зміни тканин фітолейм процесами вітринізації та наступної геліфікації після потрапляння їх у басейн седиментації фітомаси та неорганічних осадів зворотньо пропорційно залежить від початку та закінчення заповнення мінеральною речовиною порожнин клітин, які утворилися після повного розкладення і винесення органічної речовини їхніх ядер. Ті тканини, увесь об'єм порожнин клітин яких був повністю заповнений мінералами до початку інтенсивного набухання стінок і збільшення їхньої товщини мікробіологічними процесами вітринізації, зберігають близькі до прижиттєвих форму, розміри клітин і товщину їхніх стінок. Вони майже не стиснені вертикальними і горизонтальними тисками вмісних порід. Навпаки, ті тканини, стінки клітин яких певний час знаходилися у воді басейну седиментації, сприятливій для збільшення

їхньої товщини процесами вітринізації та відповідного зменшення об'єму порожнин клітин, що утворилися після розкладення речовини ядер, менш інкрустовані мінеральною речовиною та інтенсивніше стиснені. Тканини, що не містять включень кварцу або інших мінералів у порожнинах клітин, є більш розкладеними процесами вітринізації та найінтенсивніше стисненими вертикальними і горизонтальними тисками вмісних порід. Таким чином, єдиним критерієм для прогнозного визначення інтенсивності стиснення вітринізованих тканин ксилеми фітолейми *Cordaites* sp. 3 є інтенсивність їх розкладення процесами вітринізації та початкової геліфікації. У частково розкладених інкрустованих кварцом тканинах він дорівнює 1,1, а в максимально розкладених – критерій для точного числового визначення коефіцієнта стиснення відсутній. Інформація про коефіцієнти стиснення різних тканин різних вуглетворних рослин у різних умовах перетворення наведена в табл. 4.

Зіставлення інформації про інтенсивність стиснення вуглевмісних порід і вуглетворної фітомаси, виявленої попередніми вченими, з інформацією автора статті наведено в табл. 5.

Висновки.

1. Коефіцієнт стиснення вуглевмісних порід, що складають ядра вивчених фітолейм, змінюється від 1,0 до 4,6. Найбільш стиснені ядра складені аргілітом ($K_{ст} = 1,7-4,6$), а найменш стиснені ті, що складені пісковиком ($K_{ст} = 1,2-2,7$). Ядро, складене лігнітизованою ксилемою, стиснене утрічі.

2. Інтенсивність стиснення ядер фітолейм залежить також від їхнього положення у вуглевмісних породах. Аргілітове ядро стовбура фітолейми *Bothrodendron* sp. 2, захоронене у вертикальному прижиттєвому положенні та орієнтоване довгою віссю перпендикулярно до площин нашарування порід, стиснене дуже мало ($K_{ст} =$ менше 1), на відміну від ядра аргіліту фітолейми *Licopsida* sp. 2, що залягає паралельно до площин нашарування породи ($K_{ст} = 4,6$).

3. Коефіцієнт стиснення вуглевмісних порід і вуглетворної фітомаси прямопропорційно відображає зменшення їхніх колекторських властивостей і можливої тектонічної порушеності.

4. У плауноподібних рослин дуже інформативним мікроскопічним критерієм інтенсивності стиснення вітринізованих тканин є радіальні серединні пластинки, які розмежовують у живих рослин радіальні ряди клітин і розміщені у лежачих тканинах перпендикулярно до площин нашарування вмісних порід та їхніх статичних тисків.

5. Інтенсивність стиснення тканин плауноподібних рослин залежить не тільки від орієнтування радіальних серединних пластинок клітин відносно площин нашарування вмісних порід, але й від інтенсивності їхнього розкладення процесами торфо-вуглетворення. Погано і посередньо розкладені тканини зі збереженою вуглефікованою речовиною ядер клітин стиснені набагато менше (середній коефіцієнт стиснення фітомаси змінюється від 1 до 1,3), ніж тканини з дуже розкладеними стінками, речовиною ядер та серединними пластинками (середній коефіцієнт стиснення фітомаси змінюється від 2,8 до 4,2).

6. Інтенсивність стиснення вітринізованих тканин насінної папороті можна визначати по склеренхімних клітинах посередньо розкладених тканин із рештками вуглефікованої речовини ядер і без неї.

Т а б л и ц я 4. Інтенсивність стиснення вуглетворних тканин різних рослин карбону

Фітолейма	Фігура	Критерії для визначення	Середня довжина радіальних серединних пластинок, мм		Коефіцієнт стиснення	Місце відбору проби
			до стиснення	після стиснення		
<i>Voithrodendron</i> sp. 2. Найменш розкладені тканини	7–9	Радіальні серединні пластинки тканин	74	65	1,1	Шахта Селидівська- Південна, аргіліт
<i>Voithrodendron</i> sp. 2. Посередньо і добре розкладені тканини	10	Теж	333	250	1,3	Там само
<i>Voithrodendron</i> sp. 2. Найбільш розкладені тканини	11	“	128	98	1,3	“
<i>Voithrodendron</i> sp. 3. Посередньо розкладені тканини	12	“	134	78	1,7	Шахта № 4-21, аргіліт
<i>Sigillaria</i> sp. 1. Найменш розкладені тканини. Середня частина фото	17	“	33	17	1,3	Шахта ім. О. Ф. Засядька, аргіліт
<i>Sigillaria</i> sp. 1. Посередньо розкладені тканини. Права і ліва частини фото	17	“	31	10	3,0	Там само
<i>Sigillaria</i> sp. 1. Найбільш розкладені тканини	13	“	287	67	4,3	Там само
<i>Sigillaria</i> (<i>Eusigillaria</i>) <i>ovata</i> . Найменш розкладені тканини	14	“	25	25	1,0	Шахта № 4-21, аргіліт

Продовження табл. 4

Фітолейма	Фігура	Критерії для визначення	Середня довжина радіальних серединних пластинок, мм		Коефіцієнт стиснення	Місце відбору проби
			до стиснення	після стиснення		
<i>Sigillaria (Eusigillaria) ovata</i> . Найбільш розкладені тканини	16	Радіальні серединні пластинки тканин	31	11	2,8	Шахта № 4-21, аргіліт
<i>Sigillaria (Eusigillaria) cf. scutelata</i> . Добре розкладені тканини	15	Теж	98	70	1,4	Шахта ім. О. Ф. Засядька, аргіліт
<i>Cordaites</i> sp. 1	19	Смолоподібні клітини ксилеми	10	2	5	Керн діаметром 3,6 м, пісковик
<i>Cordaites</i> sp. 2, 3	–	Клітини ксилеми, інкрустовані кварцом	16	14	1,1	Там само
<i>Pteridospermae</i> sp.	18	Склеренхімні клітини тканин	30	2	15	Там само, аргіліт

Примітка. Середнє значення коефіцієнта стиснення вуглеворних тканин дорівнює 3,3.

Т а б л и ц я 5. Інтенсивність стиснення вуглевмісних порід і вуглетворної фітомаси, за даними попередніх дослідників/автора статті

Автор	Рік	Об'єкт досліджень попередніх учених (перетворення)	Коефіцієнт стиснення (за попередніми вченими/автором статті)
Забігайло В. Ю.	1974	піску в пісковик	1,3/1,6
Забігайло В. Ю.	1974	алевриту в алевроліт	1,9/–
Забігайло В. Ю.	1974	глини в аргіліт	2,3/3,1
Забігайло В. Ю.	1974	фітомаси в торф і вугілля	5,0/3,3
Прокопченко А. С.	1967	теж: по смоляних тілах у вугіллі	4,5/3,3
Єгоров О. І.	1969	по оболонках спор і пилку	3,6/3,3
Волкова І. Б.	1958	по мінеральних включеннях у вугіллі	5,2/3,3
Штуцер О.	1940	теж	2,2/3,3
Приходько Ю. М.	1963	по прошарках породи у вугільних пластах	5,9/3,3
Волков В. Н.	1973	по втраті води при утворенні вугілля	2,4/3,3
Попов М. І.	1959	по зміні горючої маси вугілля	2,2/3,3

7. Коефіцієнт стиснення посередньо вітринізованої ксилеми кордаїта доцільно визначати по клітинах з наявною вуглефікованою речовиною ядер у їхніх порожнинах.

8. Вуглевмісні породи, що складають ядра вивчених фітолейм, орієнтовані довгою віссю паралельно до площин їхнього нашарування, стискувалися по-різному, а саме: аргіліти – від 1,7 до 4,6 раза, пісковики – в 1,2–2,7 раза.

9. Значно вітринізовані та геліфіковані тканини вуглетворних рослин стискувалися інтенсивніше, ніж частково і посередньо вітринізовані.

10. Наявні великі розбіжності величин стиснення вуглевмісних порід і вуглетворної фітомаси, розраховані попередніми вченими, зумовлені, мабуть, відсутністю комплексних петрологічних, макро- і мікропалеоботанічних досліджень фітолейм вуглетворних рослин та мацарелів вугілля.

11. Ядро з лігнітизованої деревини фітолейми *Cordaites* sp. 3 стиснене більше ($K_{ст} = 3,0$), ніж ядра з пісковіку фітолейми *Cordaites* sp. 2 ($K_{ст} = 2,7$), *Cordaites* sp. 1 ($K_{ст} = 1,2$) та фітолейми *Bothrodendron* sp. 4 ($K_{ст} = 1,2$).

12. Вітринізовані тканини перидерми фітолейми *Bothrodendron* sp. 2 стиснені менше ($K_{ст} = 1,3$), ніж ядро аргіліту фітолейми *Bothrodendron* sp. 2, гілка ($K_{ст} = 1,7$).

13. Вітринізовані тканини перидерми фітолейми *Bothrodendron* sp. 3 стиснені менше ($K_{ст} = 1,7$), ніж перидерми фітолейми *Sigillaria* (*Eusigillaria*) *ovata* ($K_{ст} = 2,8$) та фітолейми *Sigillaria* sp. 1 ($K_{ст} = 4,3$).

14. Середні значення коефіцієнта стиснення вуглевмісних порід різні, а саме: за даними В. Ю. Забігайла: при перетворенні алевриту в алевроліт і піску в пісковик – 1,8; глини в аргіліт – 2,3; за автором статті: глини в аргіліт – 3,1;

піску в пісковик – 1,6. Середні значення коефіцієнта стиснення вуглетворної фітомаси близькі – за попередніми вченими воно дорівнює 3,9, а за результатами досліджень автора статті – 3,3.

Волков В. Н. Генетические основы морфологии угольных пластов. – М. : Недра, 1973. – 135 с.

Волкова И. Б. Литология и стратиграфия мощного угольного пласта Березовского месторождения (Канско-Ачинский бассейн) // Сов. геология. – 1965. – № 6. – С. 90–103.

Егоров А. И. Механизм накопления биомассы и формирования угольного пласта // Геология угольных месторождений. – М. : Наука, 1969. – Т. 1. – С. 66–75.

Жизнь растений : в 6 т. – М. : Просвещение, 1978. – Т. 4 : Мхи, плауны, хвощи, папоротники, голосеменные растения. – 447 с.

Забигайло В. Е. Геологические условия выбросоопасности угольных пластов Донбасса. – Киев : Наук. думка, 1974. – 272 с.

Зарицкий П. В. О возможности использования конкреций для определения сокращения мощности исходного вещества каменного угля // Докл. АН СССР. – 1965. – Т. 164. – № 3. – С. 666–669.

Иванов Г. А., Сарбеева Л. И. Кливаж (отдельности) в углях и вмещающих породах и пути его практического использования // ГОНТИ. – 1940. – Ч. 2. – 50 с.

Иносова К. И. Исходный материал углей // Атлас углей нижнего карбона Донецкого бассейна. – М. : Наука, 1964. – С. 26–31.

Криштофович А. Н. Палеоботаника. – Л. : Госнаучтехиздат, 1957. – 650 с.

Левенштейн М. Л., Спирина О. И. Комплект карт метаморфизма углей Донецкого бассейна (поверхности палеозоя, срезов –400 м, –1000 м, –1600 м и структурных планов угольных пластов c_6^1 и k_8), масштаб 1 : 500 000. – Киев : ЦТЭ, 1991. – 104 с.

Новик Е. О. Каменноугольная флора Европейской части СССР. – М. : АН СССР, 1952. – 468 с.

Попов Е. И. К оценке точности изображения залежи полезного ископаемого по данным разведки // Зап. ЛГИ. – 1959. – Т. 36. – Вып. 2. – С. 178–189.

Приходько Ю. И. Наблюдения над усадкой углей и песчано-глинистых пород на Интинском каменноугольном месторождении // Изв. АН СССР. Сер. геол. – 1963. – № 2. – С. 99–105.

Прокопченко А. С. К вопросу о сокращении мощности угольных пластов Донбасса в ряду углефикации // Докл. АН СССР. – 1967. – Т. 173. – № 2. – С. 425–427.

Узюк В. И. Исходный материал углей и физико-химические особенности витре-нов Донбасса // Геология и разведка угольных месторождений. – Тула : Тульский политехн. ин-т, 1970. – С. 220–238.

Узюк В. И. Фитеральный анализ угольных пластов среднего карбона Юго-Западного Донбасса и его прикладное значение // Геология и геохимия горючих ископаемых. – 1990. – Вып. 75. – С. 24–30.

Узюк В. И., Игнатченко Н. А. Микроструктуры витринизированных тканей растений (средний карбон Донбасса). – Киев : Наук. думка, 1985. – 100 с.

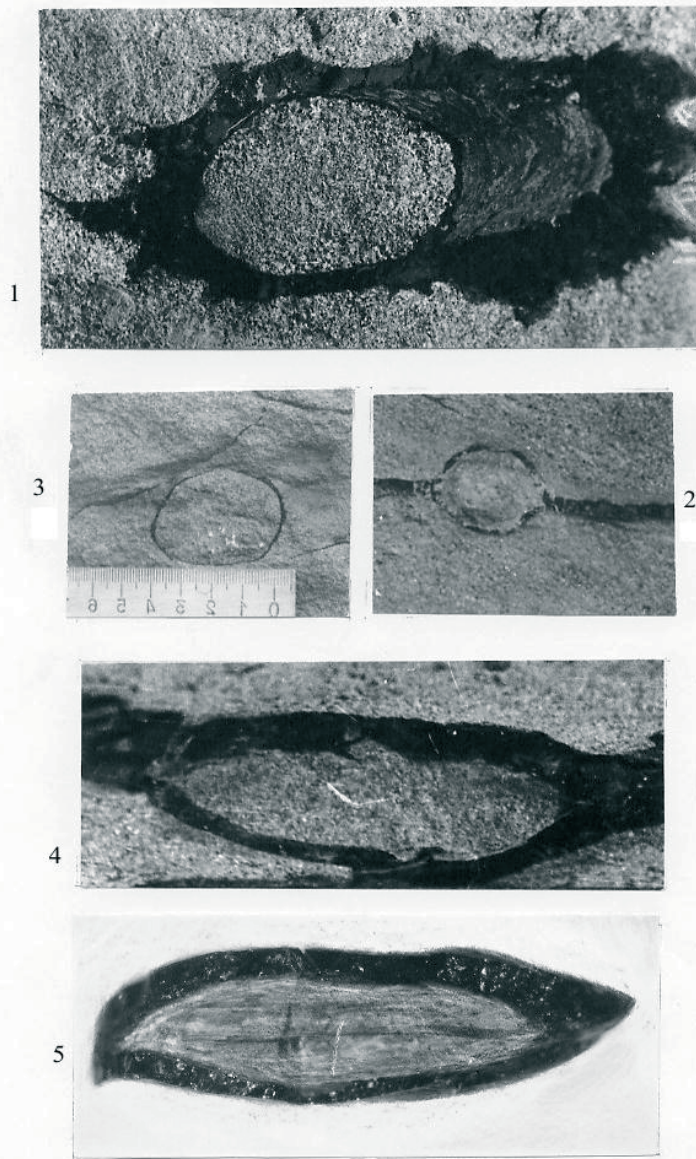
Узюк В. И. Роль різних рослин карбону України, їх органів і тканин в утворенні вуглеводнів // Геологія і геохімія горючих копалин. – 1998. – № 1 (102). – С. 64–76.

Эсау К. Анатомия растений / пер. с 2-го англ. изд. А. Е. Васильева, М. Ф. Даниловой, Н. В. Первухиной и Н. С. Снигиревской. – М., 1969. – 564 с.

Stutzer O. Geology of coal. – Chicago, Illinois, 1940. – 461 p.

Стаття надійшла
15.04.2016

Фотоілюстрації та пояснення до них



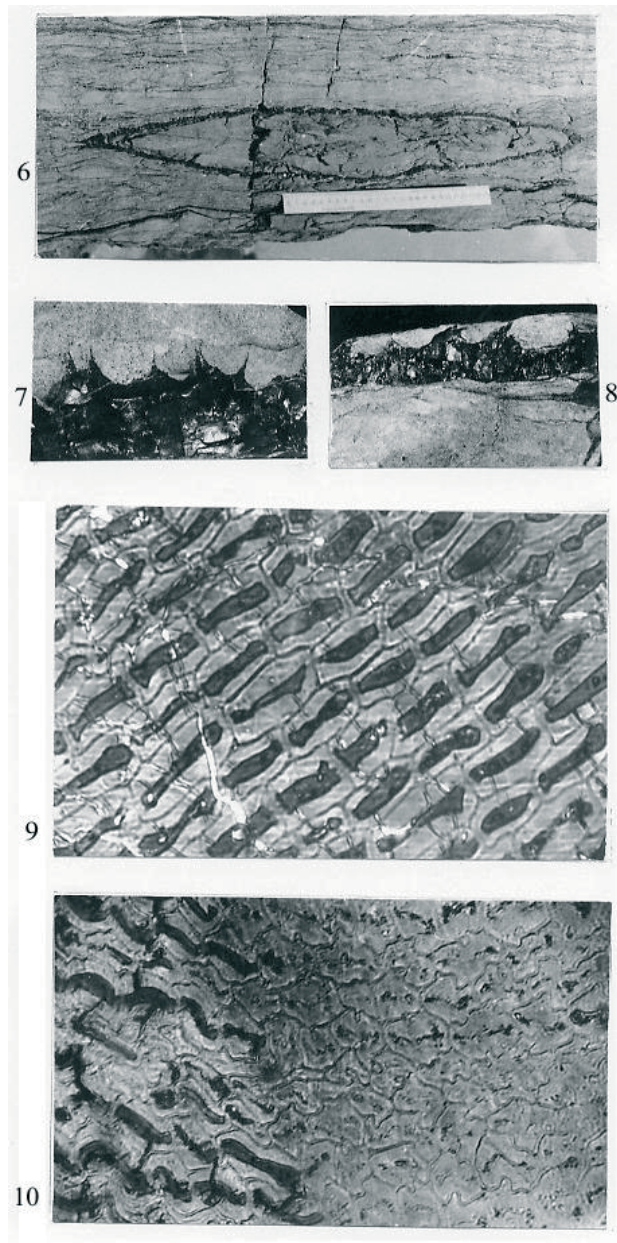
Фіг. 1. Фрагмент стовбура *Bothrodendron* sp. 4 у грубозернистому пісковнику зі слабо стисненим ядром того самого пісковнику, облямованим товстою смугою вітрени ($K_{ст} = 1,2$). $\times 1$.

Фіг. 2. Фрагмент стовбура *Cordaites* sp. зі слабо стисненим ядром того самого пісковнику, облямованим двома тонкими смугами вітрени, що зливаються в одну товсту в місцях відсутності породного ядра ($K_{ст} = 1,2$). $\times 1/5$.

Фіг. 3. Поперечний перетин гілки *Licopsida* sp. 1 на боковій поверхні керна зі слабо стисненим ядром пісковнику, облямованим тонкою смугою вітрени ($K_{ст} = 1,2$). $\times 1/17$.

Фіг. 4. Фрагмент гілки *Cordaites* sp. 2 із двома товстими смугами вітрени, що облямовують посередньо стиснене ядро пісковнику, а за його межами зливаються в дуже товсті смуги вітрени ($K_{ст} = 2,7$). $\times 1$.

Фіг. 5. Фрагмент поперечного перетину гілки *Cordaites* sp. 3 із товстою смугою вітрени, що облямовує посередньо стиснене ядро з лігнітизованої деревини ($K_{ст} = 3$). $\times 1$.

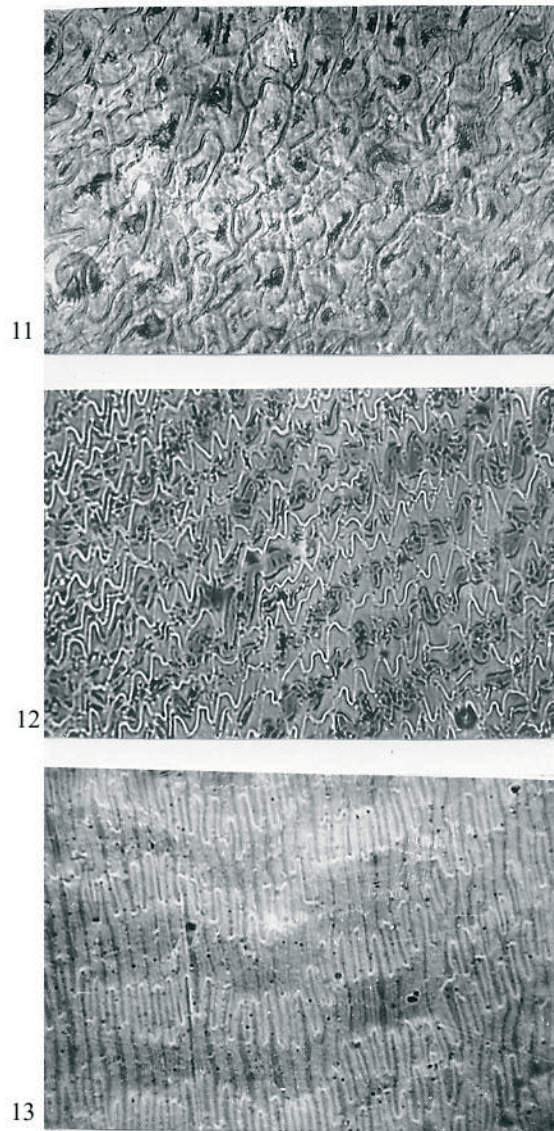


Фіг. 6. Поперечний перетин стовбура плауноподібної рослини *Licopsida* sp. 2 із тонкою смугою вітрени, що облямовує дуже стиснене аргілітове ядро ($K_{ст} = 4,6$). $\times 1/17$.

Фіг. 7, 8. Вітринізовані фіголейми фрагментів стовбура *Bothrodendron* sp. 2 із товстою смугою вітрени, що контактує із вмісним аргілітом (фіг. 7) та аргілітом ядра (фіг. 8). $\times 1$.

Фіг. 9. Добре збережена мікроструктура вітринізованих слабо стиснених тканин перидерми *Bothrodendron* sp. 2 із майже прямолінійними «цілими» клітинами, радіальними і тангентальними серединними пластинками. Коефіцієнт стиснення малий, лише 1,1.

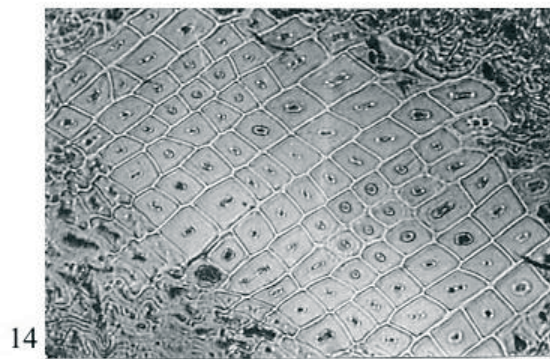
Фіг. 10. Посередньо розкладені та слабо стиснені тканини перидерми *Bothrodendron* sp. 2 у лівій частині ($K_{ст} = 1,3$) та більш розкладені, але мало стиснені в правій частині ($K_{ст} = 1,2$).



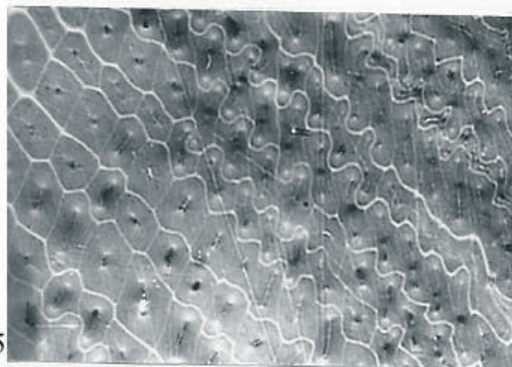
Фіг. 11. Найбільш розкладені та стиснені тканини перидерми ботродендрона в прижиттєво вертикально захороненому стовбурі з реліктами чорної речовини в порожнинах клітин і ниткоподібними деформованими серединними пластинками. Малий (лише 1,3) коефіцієнт стиснення інтенсивно розкладених тканин зумовлений вертикальним положенням стовбура у вмісних аргілітах та перевагою вертикальних тисків у надрах Землі над горизонтальними.

Фіг. 12. Посередньо розкладені та слабо стиснені тканини перидерми *Bothrodendron* sp. 3 з реліктами чорної речовини в порожнинах клітин і ниткоподібними радіальними сильно деформованими серединними пластинками. Коефіцієнт стиснення змінюється від 1,6 до 1,8 і в середньому дорівнює 1,7.

Фіг. 13. Дуже розкладені та стиснені тканини перидерми *Sigillaria* sp. 1 із тонкими прямолінійними включеннями чорної речовини в реліктах порожнин клітин, темно-сірими їх стінками і ниткоподібними світло-сірими дуже деформованими радіальними серединними пластинками. Коефіцієнт стиснення тканин змінюється від 3,7 до 5,0 і в середньому дорівнює 4,3.



14



15

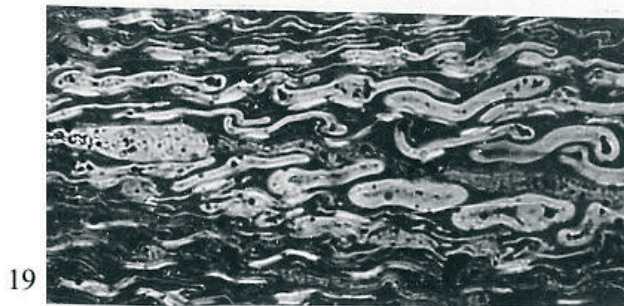
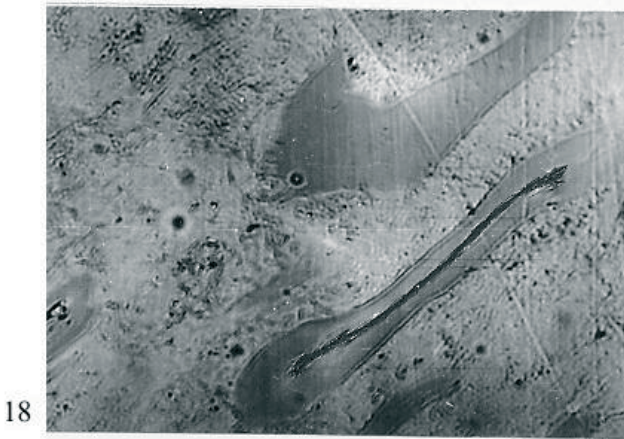
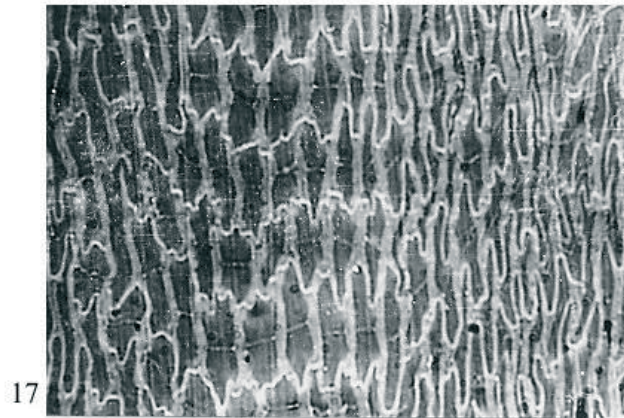


16

Фіг. 14. Частково розкладені майже нестиснені тканини перидерми *Sigillaria* [*Eusigillaria*] *ovata* з дуже добре збереженими радіальними і тангентальними стінками клітин, прямолінійними ниткоподібними радіальними і тангентальними серединними пластинками та рештками темно-сірої і чорної органічної речовини в реліктах порожнин клітин.

Фіг. 15. У верхньому і нижньому лівому кутках тканини перидерми *Sigillaria* [*Eusigillaria*] *cf. scutellata* мало розкладені та стиснені ($K_{ст} = 1,1$), а в середній і верхній правій частинах – більш розкладені та стиснені ($K_{ст} = 1,36-1,5$; у середньому 1,4).

Фіг. 16. Дуже сильно розкладені та стиснені тканини перидерми *Sigillaria* [*Eusigillaria*] *ovata* із частково збереженими радіальними серединними пластинками. Середній коефіцієнт стиснення дорівнює 2,8.



Фіг. 17. Посередньо розкладені та стиснені тканини перидерми *Sigillaria* sp. 1 у середній частині ($K_{ст} = 2$), а значно більш розкладені та стиснені займають усю праву і крайню ліву частини ($K_{ст} = 3,0$).

Фіг. 18. Округло-овальні рештки інтенсивно розкладених і дуже стиснених спеціалізованих склеренхімних клітин стовбура насінної папороті в основній масі повністю розкладених паренхімних клітин тканин. Середнє значення коефіцієнта стиснення склеренхімних клітин дуже велике – 15,0.

Фіг. 19. Дуже розкладені та стиснені тканини ксилеми *Cordaites* sp. 1 з великою кількістю менш розкладених, але дуже стиснених смолоподібних клітин. Середнє значення коефіцієнта їхнього стиснення дорівнює 5,0.

Vasyl UZIYUK

**ANATOMICAL STRUCTURE OF TISSUES
OF THE PLANT STEMS OF CARBONIFEROUS OF UKRAINE
AND THEIR ROLE IN PEAT AND COAL FORMATION**

Here the results of the determination of the intensity of compression of coaly rocks and coal-forming phytomass based on macroscopic geological comparative methods for different conditions of occurrence of remnants of organs of coal-forming plants as well as based on studies of the thin sections of different coal-forming tissues of phytoliteims and petrifications by macropaleobotanic comparative and micropaleobotanic anatomical-morphological methods are described. The influence of the mineral composition of inorganic rocks, that compose the cores of the plant fragments or fill the hollowness of the cells of the plant tissues, and the intensity of their decomposition while peat- and coal-forming upon the intensity of phytomass compression is revealed.