

УДК 553. 94+561.35/38:551.735(467,477)

ІНТЕНСИВНІСТЬ СТИСНЕННЯ ВУГЛЕВМІСНИХ ПОРІД І ВУГЛЕТВОРНОЇ ФІТОМАСИ ПІД ЧАС УТВОРЕННЯ ТОРФУ І ВУГІЛЛЯ

В. Узіюк

*Львівський національний університет імені Івана Франка
вул. Грушевського, 4, 79005 Львів, Україна
e-mail: coalgeol@franco.lviv.ua*

Описано результати визначення інтенсивності стиснення вуглевмісних порід і вуглетворної фітомаси макроскопічними геологічними порівняльними методами в різних умовах залягання рештків органів вуглетворних рослин, а також вивчення прозорих шліфів різних вуглетворних тканин фітолейм і петрифікацій макропалеоботанічним порівняльним і мікропалеоботанічним анатомо-морфологічним методами. Виявлено вплив мінерального складу неорганічних порід, що є ядрами фрагментів рослин або заповнюють порожнини клітин рослинних тканин, та інтенсивності їх розкладення під час торфо-вуглеутворення на інтенсивність стиснення фітомаси.

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

Загальні відомості. У відкладах карбону Донецького і Львівсько-Волинського басейнів виявлено близько 250 видів рослин (Новик, 1952, 1968; Снигиревская, 1958, 1964, 1967; Фисуненко, 1975). На думку М. Д. Залеського, основними вуглеутворювачами були лише плауновидні рослини (Залесский, 1914). Інші вчені вважають, що вугілля утворилось з фітоценозів більш різноманітного складу (Снигиревская, 1958, 1964, 1967; Фисуненко, 1975; Вирвич, 1972, 1973; Иносова, 1964, 1986; Узіюк, 1970, 1985, 1990, 1994; Усачева, 1954). Особливості залягання і генетичних змін рештків вуглетворних рослин у вуглевмісних породах та їхні взаємовідносини автор вивчав макроскопічними геологічними та палеоботанічними методами й апробував переважно у вибоях штреків шахт, їх стінках, підшві та покрівлі вугільних пластів. Добре збережені великих розмірів вуглефіковані та петрифіковані фітолейми різних вуглетворних рослин також особисто виявляв, вивчав й опробовував у керні діаметром 3,6 м, вибуреному спеціальними станками в процесі проходки вентиляційного ствола шахти 4–21 тресту “Петровськвугілля” у Донецько-Макіївському геологопромисловому районі. Петрифіковану деревину прикореневої частини стовбура кордаїта виявлено, вивчено й апробовано у вугіллі припідшовної частини розрізу пласта k_8 в шахті 3 Новгородівка Красноармійського геологопромислового району Донбасу, а нижню частину стовбура ботродендрона (*Bothrodendron* sp. 2) висотою 90 см з аргілітовим ядром у середині, облямованим зовні смугою вітринізованої перидерми, виявлено у вертикальному прижиттєвому положенні, вивчено й апробовано у вибої штреку шахти Селидівської-Південної того ж району. Стовбур нахилений до площини нашарування вугільного пласта під кутом 75–80°. Діаметр його в нижній частині ста-

новить 60 см, в середній – 45 і у верхній – 38 см. Прикоренева частина стовбура розміщена в сірому аргіліті прошарку між пластами вугілля 1_7^H і 1_7^B на відстані 10 см від верхньої площини пласта 1_7^H . 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. (можливо гілки *Bothrodendron* sp. 2) з вуглефікованою перидермою. Внутрішня частина його заповнена аргілітовим ядром. Відслонена довжина фрагмента стовбура (гілки) 40 см. На площині поперечного перетину форма його лінзоподібна товщиною лінзи 1 см і її довжиною 17 см. Товщина смуги вітрени, що облямовувала ядро аргіліту, змінюється від 1 до 3 мм. Внутрішня його площина, що прилягала до аргіліту ядра, була рівна, а зовнішня – частково ребриста. Висота ребер, що заходять в аргіліт прошарку між пластами 1_7^H 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 вулілля 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. Сумісне знаходження її зі стовбуром описаного ботродендрона умовно свідчить про можливу належність до його гілки, захороненої також у прижиттєвому положенні. Менших розмірів фрагменти стовбурів і коріння з вуглефікованими, переважно вітринізованими, тканинами зовнішньої кори (перидерми) плауноподібних і папоротеподібних рослин, а також деревини кордаїтів виявлено, вивчено й апробовано у керні звичайних геологорозвідувальних свердловин. З фітолейм і проб вугілля з пластів зроблено й детально комплексом методів вивчено прозорі двосторонньо поліровані 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, 1998, 1999). 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 15/1 190, l_3 19/1935, l_7 27/1 659, l_8 16/630, l_8^1 28/1 363, m_3 6/657, n_1 12/1 288; Львівсько-Волинський басейн: n_7^H 10/473, n_7 11/58, n_7^B 6/203, n_8 11/588, n_8^B 5/213. Крім того, вивчено 2 230 прозорих шліфів, виготовлених із вітринізованих фітолейм різних рослин. Усього вивчено 202 монолітні розрізи п'ятнадцяти вугільних пластів, 195 фітолейм, 15 232 шліфа і 2 542 вуглехімічні аналізи секційних вугільних проб. Коефіцієнт макроскопічного вивчення товщини кожного розрізу дорівнює 100 %, а коефіцієнт мікроскопічного їх вивчення також великий і дорівнює 85–95 %.

Анатомічна будова вуглетворних рослин. Комплексними дослідженнями фактичного матеріалу доведено головне значення анатомо-морфологічного методу для виявлення вуглеутворюючих фітоценозів і виявлено участь у цьому процесі рослин трьох типів: *Lycopsidea* (плауноподібні), *Arthropsidea* (членистостеблові) і *Pteropsida* (папоротеподібні). Плауноподібні представлені деревоподібними рослинами родів лепідодендрон, лепідо-

флойос, ботродендрон, сигілярія, трав'янистими селлагінелами і кореневою системою невизначеного систематичного положення – *Stigmaria*. Із членистостеблових у вугіллі визначено фітерали каламітів і клинолистів, а із папоротеподібних – кордаїти, власне папороть, насінна і марвтієва папороть. Прижиттєва анатомічна будова тканин рослин різної систематичної належності була різною. Відомості про співвідношення типів тканин на поперечних перетинах стовбурів уперше виявлено автором по макрофотоілюстраціях до робіт попередніх дослідників (Криштофович, 1957) і зіставлено в табл. 1 і 2.

Узагальнення інформації, наведеної вище, а також викладеної в тексті і на 92 фототаблицях роботи автора (Узіюк, Ігнатченко, 1985), що узагальнила результати комплексного вивчення 2 230 прозорих шліфів з вугілля та петрифікацій деревини фітолейм, а також зіставлення її з результатами підрахунків фітерального складу вугілля монолітних 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 доведено, що це спричинене не тільки особливостями фізіологічного призначення, анатомічної будови тканин різних органів рослин, складу елементів клітин різних частин тіла кожного органу, а й обумовленою 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 у 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 становлять вивчені монолітні розрізи вугільних пластів, чітко розпізнаються смуги вітрени товщиною до 5–8 мм і його штрихи товщиною до 1 мм, що утворились з фрагментів кори або деревини різних рослин. Характерною особливістю їх є відсутність скульптури зовнішньої поверхні корових тканин і листових подушок та рубців. Тому систематичну належність рослин, з тканин яких утворились вітрени, визначали у прозорих шліфах за допомогою мікроскопа по типових мікроструктурах раніше складеного визначника (Узіюк, Ігнатченко, 1985). Тканини усіх таких фрагментів стовбурів, головню, дуже сплюснуті. У них, як і в фітолеймах, що залягають в неорганічних породах, зберігаються вуглефікованими (переважно вітринізованими) тільки тканини листових 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 з включеннями товстостінних клітин і смугоподібних їх скупчень, а також переважно вторинної деревини кордаїтів, які складаються з дуже лігніфікованих і насичених смолоподібною речовиною клітин, що інколи виповнює їхні порожнини. Всі інші тканини, починаючи від серцевини і закінчуючи, мабуть, зовнішньою корою, які становили внутрішню частину стовбурів, повністю розкладалися після смерті рослин і попадання її в середовище торф'яного болота. Їх виносили з болота проточні води у прилеглі басейни седиментації, і вони могли бути вихідною речовиною для утворення нафти і газу. У фрагментах стовбурів, представлених у вугіллі смугами вітрени, ядра, зазвичай, утворені складними мікроінгредієнтами. Вони дуже сплюснуті, товщиною від ледь помітних неозброєним оком “швів”, що розділяють смугу вітрени на дві частини, до перших одиниць міліметра.

Таблиця 1.

Зіставлення інформації про стовбури плауноподібних рослин *

Рослини	Розміри, м		Співвідношення тканин, %											
	висота	товщина	серцевина	метаксилема	протоксилема	вторинна деревина	камбій	флоєма	периксил	кора			перидерма	
										внутрішня первинна з ендодермою	середня	зовнішня первинна	внутрішня частина	зовнішня з листовими подушками
Лепідодендрон	До 40	2, рідше 7,33	3	4	2	11	1	3	2	14	–	16	41	3
Лепідодфлюїос	25–30	–**	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Ботродендрон	Подібні до лепідодендрона		Подібні до будови лепідодендрона											
Сигілярія	До 30	–	21	–	5	4	–	7	–	–	5 2	–	Разом 11	
Селагінела	Трава звичайна мала													

Таблиця 2

Зіставлення інформації про стовбури (стебла) хвощеподібних і папоротеподібних рослин*

Рослини	Розміри		Співвідношення тканин, %											
	висота, м	товщина	серцевина	метаксилема	ксилема	первинна деревина протоксилема	вторинна деревина	камбій	кора	флоєма		вторинний луб	перидерма	
										внутрішня кора з шара-ми склерен- хіми	зовнішня деревинна кора			
Каламіти	8–10 зрідка 20	Інколи понад 0,5	38	2	—**	—	33	—	27	—	—	—	—	
Клинолисти	Декілька метрів	0,1–1,5 см	немає		—	12	61	1	—	—	—	13	12	
Насінна папороть (птеридоспе- рми)	До 22	2–4 до 20 см	25	—	30	—	—	—	—	Разом 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 біль- ше	33	—	—	38	29	—	—	—	—	—	—	

* За матеріалами праць [1, 2, 16, 20, 21].

** “–” – даних немає.

За результатами комплексного вивчення фітолейм і вугілля монолітних розрізів пластів розраховано дольову участь тканин стовбурів різних рослин в утворенні вугілля.

Методологію розрахунків наведено у праці автора (Узіюк, 1998). Доведено, що тканини стовбурів різної систематичної належності продукували різну кількість вітринізованої речовини. Максимальним вуглетворним значенням виділяється кордайт. 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, зображену відношенням, що змінюється від 10:1 до 24:1. Мінімальною кількістю вітринізованої речовини зображено 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; стигмарії – від 13:1 до 67:1. Це значною мірою узгоджується з особливостями анатомічної будови тканин стовбурів, що утворювали вугілля, і здатністю їх протидіяти розкладенню процесами торфо-вуглеутворення.

Загальні відомості про анатомічну будову тканин і стовбурів рослин такі. Головним найдрібнішим живим елементом рослин є клітина (Есау, 1969). Вона складається з білкової плазми, або цитоплазми, ядра й оболонки. Білкова плазма вміщує пластиди трьох родів: хлоропласти, хромопласти і лейкопласти. Кожен із них має типовий склад і виконує свої фізіологічні функції за життя клітини. Головним елементом клітини є ядро округлої або еліпсоподібної форми. Воно, як і плазма клітини, складається з білків, проте дещо іншого складу, і вміщує свою ядерну нуклеїнову кислоту. Групи клітин, які мають однакову організацію і форму, називаються тканинами. Оболонки клітин в тканинах плауноподібних рослин родів лепідодендрон, лепідодфлойос, ботродендрон і сигілярія розділяються міжклітинною органічною речовиною, що утворює серединну пластинку. Вона складається, головню, з пектинових речовин, насичується лігніном у процесі одеревеніння тканин рослини і стає дуже стійкою до біохімічних та фізико-хімічних процесів розкладення і перетворення під час утворення вітрени.

У тканинах стовбурів плауноподібних рослин клітини розміщувались не круговими рядами, як у сучасних соснових, дубових та інших рослин, а радіальними і тангентальними рядами, розділеними серединними пластинками. Вони добре простежуються за допомогою мікроскопа у вертикальних прозорих вугільних шліфах за збільшень 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.

Стан розробки проблеми. Захоронені в надрах тканини різних органів рослин вуглефікувались під дією температур і тисків, які закономірно збільшувались зі збільшенням глибини їхнього залягання. Головним фактором фізико-хімічних змін рослинної органічної речовини більшість учених визнає температуру. Тиски сприяють відтисканню води і відповідному збільшенню вуглефікації, головню, під час перетворення торфу у буре вугілля. На кам'яновугільній та антрацитовій стадіях збільшення тисків зменшує відхід продуктів хімічного перетворення фітомаси і головним фактором метаморфізму стає температура. Однонаправлена ущільнююча дія тисків зберігається на всіх етапах перетворення фітомаси у вугілля. На тканини органів рослин в надрах Землі діють різнонаправлені 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 зменшувалась товщина їхніх покладів і деформувалась прижиттєва прямолінійна форма серединних пластинок. Проблема ви-

явлення інтенсивності стиснення неорганічних порід і фітомаси під час утворення вугілля досить складна. Наукове її вирішення сприятиме подальшому пізнанню процесів торфо-вуглеутворення, інтенсивності зміни тканин рослин, кількісній оцінці фітомаси, що накопичилась у торф'яному болоті, залишилась в надрах Землі у вигляді вугілля, була розкладена і винесена з торф'яного болота у прилеглі басейни седиментації, перетворена там в нафту і газ, а також прогнозній оцінці колекторських властивостей вуглевмісних порід і місцезнаходжень вуглеводнів у земній корі. Вчені колишнього СРСР і України приділяли і приділяють велику увагу вирішенню цієї проблеми. Наприклад, у праці В. Ю. Забігайла (Забігайло, 1974) наведено такі показники скорочення початкового об'єму осаду під час утворення порід для середніх марок метаморфізму вугілля: пісок у пісковик – в 1,3 раза; алевроит в алевроліт – в 1,9; глина в аргіліт – у 2,3; торф у вугілля – у п'ять разів. Зарицький П. В. (1965) визначив величину стиснення фітомаси у 2,6–5,3 раза по мінеральних конкреціях у вугіллі; Прокопченко А. С. (1967) – у 3,5–4,5 по смоляних тілах у вугіллі; Єгоров О. І. (1969) – у 3,04–4,2 по стисненню оболонок спор і пилку у вугіллі; Волкова І. Б. (1958) – у 5,2; Штуцер О. (1940) – у 2,2 по мінеральних включеннях у вугіллі; Приходько Ю. М. (1963) – у 5,9 по породних прошарках у вугільному пласті; Волков В. Н. (1973) – у 2,4 по втраті води під час утворення вугілля з торфу, Попов М. І. (1959) – у 2,2 раза по зміні маси горючої речовини вугілля. Наведені великі розбіжності величин стиснення фітомаси під час вуглеутворення (від 2,2 по 5,9) зумовлені, на нашу думку, вивченням і зіставленням дослідниками не окремих елементів вуглефікованих клітин тканин простих мацералів, а сформованих з їх сумішей складних літотипів вугілля з включеними в ньому неорганічними або органічними речовинами, які також змінювались під час седиментогенезу, діагенезу та катагенезу вугілля. Тому отримані коефіцієнти стиснення фітомаси є не прямими, а відносними. Автор визначив інші показники інтенсивності стиснення неорганічних осадів під час перетворення їх у породи і фітомаси переважно у газове вугілля. Вони будуть описані нижче після розгляду методів визначення і зіставлені у табл. 5.

Метод визначення інтенсивності стиснення ядер фітолейм вуглетворних рослин. Описані вище різні тканини померлих стовбурів плауноподібних рослин, що потрапили у водне середовище, розкладались мікробіологічними процесами і перетворювались у різні речовини з різною швидкістю. Найменш стійкі тканини серцевини, метаксилеми, протоксилеми, вторинної деревини, камбію, флоєми, перициклу, кори внутрішньої і зовнішньої повністю розкладались до утворення гумінових, ульмінових та інших кислот і виносились проточними водами в басейн седиментації. Утворену пустоту заповнювали неорганічні осади 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 у 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 округлу прижиттєву форму фосилізованої частини стовбура. Прижиттєвий її діаметр заміряємо лінійкою по уявному “екватору” від одного краю дроту до другого й отримуємо величину “а”. Найбільшу товщину породного ядра заміряємо лінійкою й отримуємо другу необхідну величину “в”. Ділимо діаметр фосилізованої частини стовбура (величину “а”) на товщину породного ядра (величину “в”) й отримуємо коефіцієнт стиснення породи, що становить ядро стовбура ($K_{ст} = a/v$).

Ядра вивчених автором рештків стовбурів і, можливо, гілок вуглетворних рослин складені аргілітами, алевролітами і пісковиками. Поряд з петрографічним складом і літологічними особливостями порід ядер інтенсивність їх стиснення залежить також від особливостей залягання фрагментів стовбурів і гілок у вмисних 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 залягаючого фрагмента другого стовбура (*Bothrodendron* sp. 2), можливо гілки *Bothrodendron* sp. 2, та описані нижче особливості стиснення порід їхніх ядер. Так, найменше змінену форму мало аргілітове ядро ботродендрона, захороненого у вертикальному прижиттєвому положенні в аргілітах прошарку між пластами вугілля 1₇^а і 1₇^б в шахті Селидівській-Південній Красноармійського геолого-промислового району Донбасу. Діаметр його в нижній частині стовбура 60 см, в середній – 45, у верхній – 38, 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 глинисті осад міжпластового прошарку і майбутнього аргілітового ядра стовбура. Бокові тиски, перпендикулярні до статичних, були також великими і достатніми для збереження прижиттєвої 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, визначено можливість прогнозного встановлення інтенсивності стиснення за відстанню між тріщинами ендокліважа у 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 Іванова Г. О. і Сарбєєвої Л. І. (1939, 1940) вони виникають у вугіллі внаслідок інтенсивного стиснення і обезводнення вуглетворної фітомаси. Відстань між тріщинами ендогенного кліважу у 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 визначено такі показники складу і властивостей вітрени, що утворився із кори ботродендрона, і вугілля пласта 1₇^а, % (вітрени/вугілля): W^a – 10,6/4,8–5,3; A^c – 6,2/1,4–5,5; S^c заг. – 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; $(N+O)$ 15,2/15,4–16,2; $R^{a\max}$ – 6,7/7,6–7,8; стадія метаморфізму – O_3/II ; марка вугілля – буре, близьке до кам’яного/довгополум’яне; група метаморфізму – ОБ/1Д–2Г. Наведена інформація свідчить про прогнозну доінверсійну глибину заляган-

ня стовбура ботродендрона і вугілля пласта 1₇ 2–2,5 км і температуру утворення вугілля 65–100 ° С (Левенштейн, Спирина, 1991). В таких термобаричних умовах відбувалось перетворення неорганічного осаду в аргіліт і фітомаси у вітрен та вугілля.

Фрагмент другого стовбура (можливо гілки *Bothrodendron* sp. 2) з 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 допустити, 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, виявлено 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 тому, 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 належність рослини до роду ботродендрон (*Bothrodendron* sp. 4), описаному 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 становить описане вище ядро гілки ботродендрона.

Друга фігура демонструє поперечний перетин фрагмента стовбура, мабуть, кордаїта (*Cordaite* sp.) з 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 відбувалось заповнення порожнини, що утворювалась, осадом піску і захоронення ним його фрагмента. З тканин кори і деревини утворились дві смуги вітрени, розділені породним ядром і прилеглі одна до одної в місцях його відсутності. Довга вісь породного ядра дорівнює 25 мм, коротка – 17, 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 боковій його 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 їх товщина (до 1 мм) свідчить про вірогідну належність рослини до плауноподібного типу (*Licopsida* sp. 1), представленого молодю гілкою з тонкою зовнішньою корою, що перетворилась у тонку смужку вітрени. У керні коротка вісь стиснутого ядра породи дорівнює 20 мм, довга – 30, реанімований діаметр – 25 мм, а коефіцієнт стиснення пісковика – $25/20 = 1,3$.

На четвертій фігурі показано поперечний перетин фітолейми гілки кордаїта (*Cordaites* sp. 2) з розкладеними паренхімними тканинами серцевини, заміщеними пісковиком, і вітринізованими тканинами деревини (Узіюк, Игнатченко, 1986). Вона залягала у керні діаметром 3,6 м на площині нашарування пісковика, мала видиму довжину 1 м, ширину у стисненому стані 7 см, дві смуги вітрени товщиною 3 і 8 мм, що облямовували ядро з пісковика, 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 виражено ребристу скульптуру з плоскими ребрами шириною до 1 см, розділеними борознами шириною 2–3 мм і глибиною до 3 мм. Це типове внутрішнє ядро кордаїта – артізія. Відстань між тріщинами ендокліважу на горизонтальній поверхні смуги вітрени змінюється від 4 до 7 мм. Довга вісь овального ядра пісковика дорівнює 85 мм, коротка – 20, реанімований округлий прижиттєвий діаметр – 55 мм, а коефіцієнт стиснення – $55/20 = 2,7$.

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

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

Метод визначення інтенсивності стиснення вуглетворної фітомаси. Для визначення інтенсивності стиснення вуглетворної фітомаси в процесі торфо-вуглетворення автор вперше у вугільній геології розробив спеціальний мікропалеоботанічний метод. Мета розробки методу – підвищити точність визначення коефіцієнта стиснення вуглетворних тканин мікроскопічним вивченням особливостей зміни елементів клітинної їх 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 трапляються в значній кількості смуги вітринізованих тканин різної систематичної належності і ступеня розкладення з добре, посередньо і погано збереженою клітинною будовою. Клітини живої, в майбутньому вуглетворної, рослини складались із протоплазматичного ядра облямованого лігнінно-целюлозними стінками. У поперечному перетині тканин вони мали форму прямокутника або квадрата з прямолінійними стінками і розміщувались в органі рослини радіальними рядами, розділеними радіальними і тангентальними прямолінійними серединними пластинками. В процесі торфо-вуглеутворення під дією мікробіологічних, фізико-хімічних процесів і тиску вуглевмісних порід клітини деформувались, їх стінки і ядра поступово розкладались, а прямолінійні серединні пластинки згинались й отримували переважно синусоїдну або іншу неправильну форму. Завдяки дуже великій стійкості до процесів торфо-вуглеутворення вони зберігаються у вітринізованих тканинах до повного розкладення ядра, стінок клі-

тин і тому є надійними природними мікропалеоботанічними маркерами. Інтенсивність деформації міжкліткових серединних пластинок залежить, головню, 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 та їх хвилястість збільшуються.

Таблиця 3

Інтенсивність стиснення порід ядер фітолейм з вуглевмісних порід за даними В. І. Узіюка

№з/п	Фітолейма	Фігура	Критерій для визначення – порода ядра	Розміри вісей ядра, мм		Реанімований діаметр ядра, мм	Коефіцієнт стиснення	Місце відбору проби
				Коротка	Довга			
1	Bothrodendron sp. 2, стовбур	7,8	аргіліт	490	490	490	1,0	Шахта Селидівська-Південна, аргіліт
2	Bothrodendron sp. 2, гілка?	–	аргіліт	70	170	120	1,7	Там само
3	Bothrodendron sp. 4	1	пісковик	37	57	45	1,2	Керн діаметром 3,6 м, пісковик
4	Cordaite sp.	2	пісковик	17	25	20	1,2	Там само
5	Licopsida sp. 1	3	пісковик	20	30	25	1,3	“
6	Cordaite sp. 2	4	пісковик	20	85	55	2,7	“
7	Cordaite sp. 3	5	деревина лігнітизована	20	90	60	3,0	“
8	Licopsida sp. 2	6	аргіліт	13	90	60	4,6	“

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

Інтенсивність стиснення вуглетворної фітомаси визначали так. Із вітринізованих тканин фітолейм і штафів вугілля зі смугами вітренив виготовляли вертикальні двосторонньо поліровані прозорі шліфи. Вивчали їх за допомогою прохідного світла мікроскопа за малих (до 100^x), середніх (100–300^x) і великих (500^x і більше) збільшеннях. Визначали у шліфі мікроділянки вітрени різного ступеня розкладення тканин, з яких утворилась смуга вітрени. Вивчали за малих, середніх і великих збільшеннях елементи клітинної будови тканин (ядро, стінки, радіальні і тангентальні серединні пластинки). За допомогою препаратів, закріпленого на столику мікроскопа, визначали координати мікроділянок з добре, посередньо і погано збереже-

ною прижиттєвою мікроструктурою вітринізованих тканин. За великих збільшень багаторазово якісно фотографували їх. На виготовлених фотографіях вибирали ділянки з добре збереженими тангентальними і радіальними серединними пластинами різного ступеня стиснення, придатні для визначення довжини серединних пластинок. Лінійкою по прямій лінії заміряли довжину синусоїдного стиснутої серединної пластинки (величина "в"), а курвіметром – довжину серединної пластинки, розтягнутої у пряму лінію, тобто у прижиттєвий стан вітринізованої тканини (величина "а"). Коефіцієнт стиснення розраховували за формулою: $K_{ст} = a/v$. За відсутності курвіметра можна надати тонкому дротові форму зігнутої серединної пластинки в межах досліджуваної ділянки, потім надати дротові прямолінійну форму і по ньому заміряти прижиттєву довжину серединної пластинки, тобто величину "а".

Описаним мікропалеоботанічним методом оцінено інтенсивність стиснення вуглетворних вітринізованих тканин ботродендронів, сигілярій, птеридоспермів і кордаїтів по фотографіях мікроструктур, зроблених за мікроскопічних досліджень зі збільшенням у 100–280 разів. Зображені у статті чорно-білі фотографії мікроструктур зроблено завдяки збільшенню мікроскопа у 550 разів.

Вітринізовані тканини внутрішньої та зовнішньої перидерми ботродендронів вивчено по прозорих шліфах, зроблених з двох фітолейм, відібраних в гірничих виробках шахт і з керна спеціальної свердловини діаметром 3,6 м. На сьомій і восьмій фігурах зображено натуральні величини зовнішнього вигляду і товщини смуги вітрени (5–11 мм), що облямовувала фрагмент описаного вище стовбура ботродендрона (*Bothrodendron* sp. 2), захороненого у прижиттєвому вертикальному положенні в прошарку аргіліту між пластами 17^a і 17^b в шахті Селидівській-Південній. У прозорих шліфах за збільшення 550 $\times$ виявлено добре, посередньо і погано збережені елементи клітинної будови тканин зовнішньої і внутрішньої перидерми. На дев'ятій фігурі зображено вітрени з добре збереженою мікроструктурою зовнішньої перидерми. В середині кожної клітини добре зберіглась чорна вуглефікована речовина ядра, облямована сірими вітринізованими їх стінками. Радіальні ряди клітин розмежовані майже прямолінійними чорними серединними пластинками. Вони прилягали з зовнішньої сторони стовбура до аргіліту, що його вміщує, а з внутрішньої – до генетично спорідненого аргіліту, що замістив розкладені тканини серцевини, деревини, внутрішньої кори й утворив ядро стовбура. В процесі діагенезу осаду й утворення з нього аргіліту вони частково змінились під дією горизонтально направлених тисків. Тангентальні серединні пластинки знаходились у площині, перпендикулярній до площини нашарування породи і паралельній до статичних тисків аргіліту, що вміщував стовбур та становив його ядро. Вони недеформовані, прямолінійні. Радіальні серединні пластинки розміщувались у 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 зумовлювали також вертикальне положення його в аргілітовому прошарку і наявність у клітинах вуглефікованої малозруйнованої речовини їхніх ядер.

У лівій частині фігури 10 показано інтенсивніше, ніж на фігурі 9, вуглефіковані тканини перидерми з частково вуглефікованою чорною речовиною ядер клітин і серединними пластинками. Тут середній коефіцієнт стиснення фітомаси, розрахова-

ний по чорній речовині ядер клітин, дорівнює 1,3. Більша права частина десятої фігури зображає інтенсивніше розкладені тканини зовнішньої перидерми. Чорна вуглефікована речовина ядер клітин представлена поодинокими включеннями неправильної форми, а основою є 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 фігурі 11 зображено сильно розкладені вітринізовані тканини внутрішньої перидерми ботродендрона. Вуглефікована чорна речовина ядер клітин збереглась 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 збережену фітолейму ботродендрона (*Bothrodendron* sp. 3) виявлено, вивчено й апробовано в алевролітах середнього карбону Донбасу, перебудованих спеціальною свердловиною з діаметром 3,6 м. Довжина відслоненої частини сплющеного лежачого стовбура фітолейми 1 м, ширина – 0,06, 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 розміщувались у площині, перпендикулярній до горизонтальної площини нашарування алевроліту, і деформувались тисками усіх 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 фігурі 12 бачимо дуже змінені тканини перидерми. Чорна вуглефікована речовина ядер клітин збереглась у вигляді включень неправильної форми, обмежованих 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 вивчено по шліфах, зроблених з 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 розміщувались у тканинах перпендикулярно до площин нашарування вмісних порід та їх статичних тисків, а тангентальні серединні пластинки – паралельно до них. Інтенсивність стиснення вітринізованих тканин представлена в шліфах особливостями морфології радіальних серединних пластинок.

Фітолейму *Sigillaria* sp. 1 відібрано в шахті імені Засядько А. Ф. з аргілітів покрівлі пласта 1⁷ середнього карбону Донбасу. Відслонені у вмісних аргілітах довжина фітолейми дорівнює 0,57 м, ширина – 0,39, товщина смужки вітрени, що залягала на аргіліті, – 2–3 мм (Узіюк, Ігнатченко, 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 простежуємо посередньо стиснені тканини з меншою кількістю вуглефікованої речовини ядер клітин і тонкішими їхніми стінками. Коефіцієнт стис-

нення тканин змінюється від 2,5 до 3,4 і в середньому дорівнює 3,0. Найбільш розкладені та стиснені тканини вітринізованої перидерми зображено на тринадцятій фігурі. Стінки клітин у вітрині переважно товстіші, ніж вуглефікована речовина їхніх ядер, а радіальні серединні пластинки дуже стиснені і мають синусоїдну форму. Коефіцієнт стиснення тканин дуже великий, змінюється від 3,7 до 5,0 і в середньому дорівнює 4,3.

Фітолейму *Sigillaria* (*Eusigillaria*) *ovata* Sauveur відібрано з алевролітів середнього карбону Донбасу, перебудованих спеціальною свердловиною з діаметром керна 3,6 м. Вона залягала на горизонтальній площині нашарування вмісних алевролітів з відслоненими довжиною 1,2 м, шириною 0,4 м і товщиною смуги вітринізованої перидерми 1–1,5 мм. У шліфах добре простежується “вибіркове” розкладення вітринізованих тканин, представлене їх 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 у живих тканинах перидерми вуглецевих плауноподібних рослин карбону клітини тканин мали правильну майже прямолінійну форму і розмежовувались прямолінійними радіальними і тангентальними серединними пластинками. Лівий нижній і правий верхній кути відображають дуже інтенсивно розкладені усі елементи клітинної будови тканин й утворену з них майже безструктурну масу вітрину. Коефіцієнт стиснення найменш розкладених тканин з майже прямолінійними радіальними серединними пластинками близький до 1, а розрахований по частково збережених радіальних серединних пластинках в 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 показано 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 з вітринізованих і геліфікованих стінок клітин. По діагоналі з лівого нижнього кутка фігури до правого верхнього простежуються дві меш 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. Фітолейму *Sigillaria* (*Eusigillaria*) cf. *scutellata* Brongniart відібрано в шахті ім. Засядько А. Ф. з аргілітів покрівлі пласта 1⁷ середнього карбону Донбасу. Вона мала відслонену довжину 0,57 м, ширину – 0,28 і товщину смужки вітринізованої перидерми – 1–2 мм (Узіюк, Ігнатченко, 1986). Загалом мікроструктури вуглефікованої перидерми дуже різні за процесами перетворення тканин, збереженістю елементів клітин та їх будовою. Мікрофотографія п’ятнадцятої фігури зображає 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 їх стінками та ниткоподібними тангентальними і радіальними серединними пластинами. Значно більш розкладені тканини показано в середній частині фігури й особливо у верхньому її кутку. Радіальні ниткоподібні серединні пластинки тут синусоїдно зігнуті у правій верхній частині і значно розкладені. Коефіцієнти стиснення вітринізованих тканин різні. У верхньому лівому кутку з найменш розкладеними клітинами, в частині фігури, що примикає до ліво-

го кута, і в середній її частині коефіцієнт стиснення тканин залежить від інтенсивності їх розкладення і дорівнює в середньому 1,1. Тканини нижньої, середньої частини 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.

Фітолейму стовбура насінної папороті (*Pteridospermae* sp.) виявлено, вивчено й апробовано 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 вітрени на аргілітах 1 мм. Вітринізовані тканини перидерми дуже змінені процесами вуглеутворення. У більшості тканин паренхімні клітини повністю розклались й утворили безструктурну речовину вітрени. Стійкіші до процесів розкладення спеціальні захисні склеренхімні клітини своєрідних “мускульних” волокон частково розклались і перетворились в тіла різної переважно округло-овальної форми. Спорадично трапляються подібні по-різному стиснуті включення з ниткоподібними рештками вуглефікованої речовини ядер в середині клітин. Реанімовану по них прижиттєву форму клітин використано для визначення їх стиснення. На фігурі 18 показано рештки переважно двох клітин, по-різному змінених процесами вітринізації. У праці (Узіюк, Игнатченко, 1985) наведено велику їх 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 (*Cordaitea* sp. 1) довжиною 3,6 м, шириною 0,35 м і товщиною смуги вуглефікованої ксилеми 15–30 мм. Вона залягала в пісковикі середнього карбону Донбасу, перебуреному спеціальною свердловиною з діаметром керна 3,6 м. Тканини ксилеми переважно дуже розкладені процесами торфо-вуглеутворення. Всі елементи клітин стиснені та розміщені довгою віссю субпаралельно до довгої вісі смуги вітрени (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 (Узіюк, 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. Їх детально комплексно вивчено по двох фітолеймах стовбура кордаїта – *Cordaitea* sp. 2 і *Cordaitea* sp. 3. Вони залягали горизонтально, паралельно до площин нашарування порід, були виявлені, вивчені та апробовані в пісковикі середнього карбону Донбасу, перебуреному спеціальною свердловиною з діаметром керна 3,6 м. Фітолейма *Cordaitea* sp. 2 мала відслонену довжину 1 м, повну ширину – 0,07 м і товщину смуги вітринізованої ксилеми, що облямовувала стиснене ядро пісковика, – 0,07 м (Узіюк, Игнатченко, 1985).

Таблиця 4

Інтенсивність стиснення вуглетворних тканин різних рослин карбону

№ з/п	Фігура	Критерії для	Середня довжина радіальних серединних пластинок, мм	Коефіцієнт стис-	Місце відбо-
-------	--------	--------------	---	------------------	--------------

	Фітолейма		визначення	до стиснення	після стиснення	нення	ру проби
1	<i>Bothrodendron</i> sp. 2. Найменш розкладені тканини	7, 8, 9	Радіальні серединні пластинки тканин	74	65	1,1	Шахта Селидівська-Південна, аргіліт
2	<i>Bothrodendron</i> sp. 2. Посередньо і добре розкладені тканини	10	Теж	333	250	1,3	Там само
3	<i>Bothrodendron</i> sp. 2. Найбільш розкладені тканини	11	“	128	98	1,3	“
4	<i>Bothrodendron</i> sp. 3. Добре розкладені тканини	12	“	134	78	1,7	Шахта № 4–21, аргіліт
5	<i>Sigillaria</i> (<i>Eusigillaria</i>) sp. 1. Найбільш розкладені тканини. Середня частина фото	17	“	33	17	1,3	Шахта імені А.Ф.Засядька, аргіліт
6	<i>Sigillaria</i> (<i>Eusigillaria</i>) sp. 1. Посередньо розкладені тканини. Права частина фото	17	“	31	10	3,0	Там само
7	<i>Sigillaria</i> (<i>Eusigillaria</i>) sp. 1. Найбільш розкладені тканини	13	“	287	67	4,3	Там само
8	<i>Sigillaria</i> (<i>Eusigillaria</i>) <i>ovata</i> . Найменш розкладені тканини	14	“	25	25	1,0	Шахта № 4–21, аргіліт
9	<i>Sigillaria</i> (<i>Eusigillaria</i>) <i>ovata</i> . Найбільш розкладені тканини	16	“	31	11	2,8	Там само
10	<i>Sigillaria</i> (<i>Eusigillaria</i>) cf. <i>scutellata</i> . Добре розкладені тканини.	15	“	98	70	1,4	Шахта імені А. Ф. Засядька, аргіліт
11	<i>Cordaitea</i> sp.1	19	Смолоподібні клітини ксилеми	10	2	5	Керн діаметром 3,6 м, пісковик
12	<i>Cordaitea</i> sp. 2–3	–	Клітини ксилеми інкрустовані кварцом	16	14	1,1	Там само
13	<i>Pteridospermae</i> sp.	18	Склеренхімні клітини тканин	30	2	15	Там само, аргіліт

Середнє значення коефіцієнта стиснення вуглетворних тканин дорівнює 3,3.

Фітолейма *Cordaitea* sp. 3 залягала в кінці фітолейми *Cordaitea* sp. 2, була її продовженням і мала довжину 0,08 м та ширину 0,05 м. Вітринізовану смужку ксилеми на ній макроскопічно не виявлено. Комплексними макро- і мікроскопічними дослідженнями обох фітолейм визначено, що ступінь зміни тканин фітолейм процесами вітринізації та наступної геліфікації після надходження їх в басейн седиментації фітомаси та неорганічних осадів зворотно пропорційно залежить від початку та закінчення заповнення мінеральною речовиною порожнин клітин, які утворились після повного розкладення і винесення органічної речовини їхніх ядер. Ті тканини, весь об'єм порожнин клітин яких був повністю заповнений мінералами до початку інтенсивного набухання стінок і збільшення їх 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 перебували у воді басейну седиментації, сприятливий для збільшення їх товщини процесами вітринізації та відповідного зменшення об'єму порожнин клітин, що утворились після розкладення речовини ядер, менш інкрустовані мінеральною речовиною та інтенсивніше стиснені. Тканини, що не вміщують включень кварцу або інших мінералів у порожнинах клітин, є більш розкладеними процесами вітринізації та найінтенсивніше стисненими вертикальними і горизонтальними тисками вмісних порід. Отже, 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 максимально розкладених критеріїв для точного числового визначення коефіцієнта стиснення немає. Інформацію про коефіцієнти стиснення різних тканин різних вуглетворних рослин у різних умовах перетворення наведено в табл. 4.

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

Таблиця 5

Інтенсивність стиснення вуглевмісних порід і вуглетворної фітомаси за даними попередніх дослідників /автора статті

Автор	Рік	Об'єкт досліджень попередніх учених (перетворення)	Коефіцієнт стиснення (попередніх учених/автор статті)
Забігайло В. Ю.	1974	піску у 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 у 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 під час утворення вугілля	2,4/3,3
Попов М. І.	1959	по зміні горючої маси вугілля	2,2/3,3

Висновки

1. Коефіцієнт стиснення вуглевмісних порід, що становлять ядра вивчених фітолейм, змінюється від 1,0 до 4,6. Найбільше стиснені ядра складені аргілітом (Кст. = 1,7–4,6), а найменше стиснені ті, що складені пісковиком (Кст. = 1,2–2,7). Ядро, складене лігнітизованою ксилемою, стиснене у три рази.

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

3. У плауноподібних рослин дуже інформативним мікроскопічним критерієм інтенсивності стиснення вітринізованих тканин є радіальні серединні пластинки, які розмі-

жовують у живих рослин радіальні ряди клітин і розміщені у лежачих тканинах перпендикулярно до площин нашарування вмісних порід та їх статичних тисків.

4. Інтенсивність стиснення тканин плауноподібних рослин залежить не тільки від орієнтування радіальних серединних пластинок клітин стосовно площин нашарування вмісних порід, а від інтенсивності їх розкладення процесами торфо-вуглеутворення. 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).

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

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

7. Вуглевмісні породи, що становлять ядра вивчених фітолейм, орієнтовані довгою віссю паралельно до площин їх нашарування, стискувались по-різному, а саме аргіліти від 1,7 до 4,6 разів, пісковики – в 1,2–2,7 разів.

8. Значно вітринізовані та геліфіковані тканини вуглетворних рослин стискувались інтенсивніше, ніж частково і посередньо вітринізовані тканини.

9. 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 мацералів вугілля.

10. Ядро з лігнітизованої деревини фітолейми *Cordaites* sp. 3 стиснене більше (Кст. = 3,0), ніж ядра з пісковика фітолейм *Cordaites* sp. 2 (Кст. = 2,7), *Cordaites* sp. 1 (Кст. = 1,2) та фітолейми *Bothrodendron* sp. 4 (Кст. = 1,2).

11. Вітринізовані тканини перидерми фітолейми *Bothrodendron* sp. 2 стиснені менше (Кст. = 1,3), ніж ядро аргіліта фітолейми *Bothrodendron* sp. 2, гілка (Кст. = 1,7).

12. Вітринізовані тканини перидерми фітолейми *Bothrodendron* sp. 3 стиснені менше (Кст. = 1,7), ніж перидерми фітолейми *Sigillaria* (*Eusigillaria*) *ovata* (Кст. = 2,8) та фітолейми *Sigillaria* sp. 1 (Кст. = 4,3).

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

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Волкова И. Б. Литология и стратиграфия мощного угольного пласта Березовского месторождения (Канско-Ачинский бассейн) / И. Б. Волкова // Советская геология. – 1965. – № 6. – С. 90–103.
2. Волков В. Н. Генетические основы морфологии угольных пластов / В. Н. Волков. – Москва : Недра, 1973. – 135 с.

3. *Вырвич Г. П.* Исходный растительный материал и типы по исходному материалу антрацитовых углей Донецкого бассейна / Г. П. Вырвич // Геологическое строение Ростовской и сопредельных областей. – Ростов-на-Дону, 1972. – С. 12–14.
4. *Вырвич Г. П.* Петрогенетические типы антрацитов Донецкого бассейна и некоторые закономерности распределения их на площади и в стратиграфическом разрезе: Автореф. дис. канд. геол.- минерал. наук / Г. П. Вырвич. – Донецк, 1973. – 24 с.
5. *Егоров А. И.* Механизм накопления биомассы и формирования угольного пласта // Геология угольных месторождений / А. И. Егоров. – Москва : Наука, 1969. – Т.1. – С. 66–75.
6. Жизнь растений : в 6 т. Т. 4. Мхи, плауны, хвощи, папоротники, голосеменные растения. – Москва : Просвещение, 1978. – 447 с.
7. *Забига́йло В. Е.* Геологические условия выбросоопасности угольных пластов Донбасса / В. Е. Забига́йло. – Киев : Наук. думка, 1974. – 272 с.
8. *Залесский М. Д.* Очерк по вопросу образования угля / М. Д. Залесский. – Петроград : Изд-во Геолкома, 1914. – 54 с.
9. *Зарицкий П. В.* О возможности использования конкреций для определения сокращения мощности исходного вещества каменного угля / П. В. Зарицкий. Докл. АН СССР. – 1965. – Т.164. – № 3. – С. 666–669.
10. *Иванов Г. А.* Кливаж (отдельности) в углях и вмещающих породах и пути его практического использования / Г. А. Иванов. – ГОНТИ. – 1939. – Ч.1.
11. *Иванов Г. А.* Кливаж (отдельности) в углях и вмещающих породах и пути его практического использования / Г. А. Иванов, Л. И. Сарбеева. – ГОНТИ. – 1940. – Ч. 2.
12. *Иносова К. И.* Исходный материал углей / К. И. Иносова / Атлас углей нижнего карбона Донецкого бассейна. – Москва : Наука, 1964. – С. 26–31.
13. *Иносова К. И.* Остатки органов споророшения в угольных пластах карбона Донецкого бассейна / К. И. Иносова // Ежегодник ВПО. – Ленинград : Наука, 1986. – С. 224–245.
14. *Криштофович А. Н.* Палеоботаника / А. Н. Криштофович. – Ленинград: Госнаучтехиздат, 1957. – 650 с.
15. *Левенштейн М. Л.* Комплект карт метаморфизма углей Донецкого бассейна (поверхности палеозоя, срезов – 400 м, – 1000 м, – 1600 м и структурных планов угольных пластов с₆¹ и к₅). Масштаб 1:500 000 / М. Л. Левенштейн, О. И. Спирина. – Киев : ЦТЭ, 1991. – 104 с.
16. *Новик Е. О.* Каменноугольная флора Европейской части СССР / О. Е. Новик. – Москва : АН СССР, 1952. – 468 с.
17. *Новик Е. О.* Раннекаменноугольная флора Донецкого бассейна и его западного продолжения / О. Е. Новик. – Киев : Наук. думка, 1968. – 233 с.
18. *Попов Е. И.* К оценке точности изображения залежи полезного ископаемого по данным разведки / Е. И. Попов // Зап. ЛГИ. – 1959. – Т. 36. – Вып. 2. – С. 178–189.
19. *Прокопченко А. С.* К вопросу о сокращении мощности угольных пластов Донбасса в ряду углефикации / А. С. Прокопченко. – Москва : Докл. АН СССР, 1967. – Т. 173. – № 2. – С. 425–427.
20. *Приходько Ю. И.* Наблюдения над усадкой углей и песчано-глинистых пород на Интинском каменноугольном месторождении / Ю. И. Приходько // Изв. АН СССР, 1963. – Серия геол. – № 2. – С. 99–105.
21. *Снигиревская Н. С.* Анатомическое изучение остатков листьев (филлоидов) некоторых ликопсид в угольных почках Донбасса / Н. С. Снигиревская // Ботан. журн. 1958. – Т. 43. – № 1. – С. 106–112.

22. Снигиревская Н. С. Анатомическое изучение растительных остатков из угольных почек Донбасса. Семейство Lepidodendraceae / Н. С. Снигиревская // Труды Ботан. ин-та АН СССР. Сер. 8. Палеоботаника, 1964. – Вып. 5. – С. 5–38.
23. Снигиревская Н. С. Остатки каламитов и псарониевых папоротников в угольных почках Донбасса / Н. С. Снигиревская // Труды Ботан. ин-та АН СССР. Сер. 8. Палеоботаника, 1967. – Вып. 6. – С. 5–27.
24. Узіюк В. И. Исходный материал углей и физико-химические особенности витренгов Донбасса / В. И. Узіюк // Геология и разведка угольных месторождений. – Тула : Тульский политехн. институт, 1970. – С. 220–238.
25. Узіюк В. И. Микроструктуры витринизированных тканей растений (средний карбон Донбасса) / В. И. Узіюк, Н. А. Игнатченко. – Киев : Наук. думка, 1985. – 100 с.
26. Узіюк В. И. Фитеральный анализ угольных пластов среднего карбона Юго-Западного Донбасса и его прикладное значение / В. И. Узіюк // Геология и геохимия горючих ископаемых. – 1990. – Вып. 75. – С. 24–30.
27. Узіюк В. И. Формирование углей и угольных пластов среднего карбона Юго-Западного Донбасса: Автореф. дис. докт. геол.-мин. наук / В. И. Узіюк. – Львов, 1994. – 30 с.
28. Узіюк В. І. Роль різних рослин карбону України, їх органів і тканин в утворенні вуглеводнів / В. І. Узіюк // Геологія і геохімія горючих копалин. – 1998. – № 1 (102). – С. 64 – 76.
29. Узіюк В. І. Анатомо-морфологічний метод фітерального аналізу вугілля і вугільних пластів карбону України / В. І. Узіюк // Геологія і геохімія горючих копалин, 1999. – Вип. 4. – С. 53–66.
30. Усачева А. В. Растения-углеобразователи и их составные части, принимавшие участие в образовании угля / А. В. Усачева // Геолого-геохимическая карта Донецкого бассейна. – Москва : Углетехиздат, 1954. – Вып. 8. – С. 301–304.
31. Фисуненко О. П. Западноевропейские “эндемики” во флоре среднего карбона Донецкого бассейна / О. П. Фисуненко // Геол. журн. – 1975. – Т. 35. – № 2. – С. 25–32.
32. Эсау К. Анатомия растений (Перевод с 2-го английского издания Васильева А. Е., Даниловой М. Ф., Первухиной Н. В. и Снигиревской Н. С.) / К. Эсау. – Москва: 1969. – 564 с.
33. Stutzer O. Geology of coal / O. Stutzer // Chicago–Illinois, 1940. – 461 p.

*Стаття: надійшла до редакції 15.12.2017
прийнята до друку 27.12.2017*

THE INTENSITY COMPRESSION OF THE COALFORMATION ROCKS AND OF COALCONSTITUTE PHYTOMASS UNDER FORMATION OF PEAT AND COAL

V. Uziuk

*Ivan Franko National University of Lviv,
Hrushevskiy Str., 4, 79005 Lviv, Ukraine
e-mail: paleontolzbirnyk@ukr.net*

In this work were described the results of determination of the effectiveness of phytomass compression by macroscopic geological comparative methods in different conditions of occurrence of the remains of carbon plants, and also the study of transparent microsections of different carbon tissues of fitoleyms and petrification by macropaleobotanical comparative and micropaleobotanical anatomy – morphological methods.

Discovered the influence of inorganic rocks mineral structure that constitute the nucleus fragments of plants or fill the cavity of tissue cells and intensity of their dissolution under formation of peat and coal on intensity of phytomass compression.

Key words: carbon, plant, peat, coal, phytomass, in formation of peat and coal, anatomy, dissolution, compression.

ПОЯСНЕННЯ ДО ФОТОІЛЮСТРАЦІЙ

Вітринізовані фітолейми фрагментів стовбурів і гілок рослин з породними ядрами, виявлені в керні, діаметром 3,6 м

Фіг. 1. Фрагмент стовбура *Bothrodendron* sp. 4 у грубозернистому пісковикі зі слабкостисненим ядром того ж пісковика, облямованим товстою смугою вітрени (Кст = 1,2) x 1

Фіг. 2. Фрагмент стовбура *Cordaites* sp. зі слабкостисненим ядром того ж пісковика, облямованим двома тонкими смугами вітрени, що зливаються в одну товсту в місцях відсутності породного ядра (Кст = 1,2) x 1/5

Фіг. 3. Поперечний перетин гілки *Licopsida* sp. 1 на боковій поверхні керна зі слабкостисненим ядром пісковика, облямованим тонкою смугою вітрени (Кст = 1,2) x 1/17

Фіг. 4. Фрагмент гілки *Cordaites* sp. 2 з двома товстими смугами вітрени, що облямовують посередньо стиснене ядро пісковика, а за його межами зливаються в дуже товсті смуги вітрени (Кст = 2,7) x 1

Фіг. 5. Фрагмент поперечного перетину гілки *Cordaites* sp. 3 з товстою смугою вітрени, що облямовує посередньо стиснене ядро з лігнітизованої деревини (Кст = 3) x 1

Фіг. 6. Поперечний перетин стовбура плауноподібної рослини *Licopsida* sp. 2 з тонкою смугою вітрени, що облямовує дуже стиснене аргілітове ядро (Кст = 4,6) x 1/17

Фіг. 7, 8. Вітринізовані фітолейми фрагментів стовбура *Bothrodendron* sp. 2 з товстою смугою вітрени, що контактує з вмісним аргілітом (фіг. 7) та аргілітом ядра (фіг. 8) x 1

Вітринізовані, по-різному розкладені та стиснені мікрофітофосилії поперечного перетину тканин вуглетворних рослин. Ніполі II, x 550

Фіг. 9. Добре збережена мікроструктура вітринізованих слабкостиснених тканин перидерми *Bothrodendron* sp. 2 з майже прямолінійними “цілими” клітинами, радіальними і тангентальними серединними пластинками. Коефіцієнт стиснення малий, лише 1,1

Фіг. 10. Посередньо розкладені та слабкостиснені тканини перидерми *Bothrodendron* sp. 2 в лівій частині (Кст = 1,3) та більше розкладені, проте мало стиснені у правій частині (Кст = 1,2)

Фіг. 11. Найбільш розкладені та стиснені тканини перидерми ботродендрона у 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 поло-

женням стовбура у вмісних аргілітах та перевагою вертикальних тисків у надрах Землі над горизонтальними

Фіг. 12. Посередньо розкладені та слабкостиснені 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 з 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 по 5,0 і в середньому дорівнює 4,3

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* малорозкладені та стиснені ($K_{ст} = 1,1$), а в середній і верхній правій частинах – більш розкладені та стиснені ($K_{ст} = 1,36-1,5$, в середньому – 1,4)

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

Фіг. 17. Посередньо розкладені та стиснені тканини перидерми *Sigillaria* sp. 1 в 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 менше розкладених, проте дуже стиснених смолоподібних клітин. Середнє значення коефіцієнта їх стиснення дорівнює 5,0



