

Святослав БИК, Єлизавета БАРТОШИНСЬКА, Олена ШЕВЧУК

## НАГРОМАДЖЕННЯ ФІТОМАСИ І ЗМІНА ЇЇ ОБ'ЄМІВ У ПРОЦЕСАХ ТОРФО- І ВУГЛЕУТВОРЕННЯ

Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України, Львів,  
e-mail: igggk@mail.lviv.ua

Поширення і склад рослинних асоціацій, нагромадження фітомаси, глибина розкладу органічного матеріалу залежать, головним чином, від палеогеографічних і фаціальних умов. Зміна об'ємів фітомаси в процесах торфо- і вуглеутворення залежить від низки генетичних та епігенетичних чинників. Найбільше її об'єм зменшується (у 20–40 разів) у седиментогенезі, де переважають біохімічні процеси. Під час вуглеутворення торф ущільнюється в основному через фізичні фактори і лише в 1,3–9,4 раза.

*Ключові слова:* фітомаса, торф, вугілля, фація, седиментогенез, метаморфізм.

Нагромадження фітомаси і подальша зміна її об'ємів у торфовищах і в метаморфічному ряді – принципові питання вугільної геології. Від їхнього пізнання залежить розуміння повного процесу торфо- і вуглеутворення, що є основою наукових прогнозів якості вугілля, газоносності вугільних покладів, зонального розміщення вугільних газів у пластах і їхньої акумуляції в певних “пастках”, визначення окремих викидонебезпечних ділянок, розроблення технології раціональної експлуатації вугільних покладів тощо.

Вугленагромадження відоме з девону, коли тектонічні рухи планетарного масштабу привели до різних палеогеографічних змін, утворення кліматичної зональності, що сприяло виходу на суходіл різноманітних видів флори.

Епохи вуглеутворення пов'язані з від'ємними рухами земної кори між фазами орогенезу і приурочені до періодів повільного тривалого занурення суходолу. Для накопичення фітомаси першочергове значення має тектонічний режим території, похідними якого є фаціальні умови і поширення певних фітокомплексів, тривалість нагромадження і біохімічного розкладу рослинних решток. Значні об'єми фітомаси нагромаджувалися переважно на території з підвищеною вологістю як у субекваторіальній, так і помірній зонах. Надлишок вологи забезпечував ізольованість фітомаси від повітря шаром води, що створювало середовище, у якому рослинна органіка не руйнувалася до мінеральних сполук, а в напівзруйнованому стані утворювала торфовища і карбонізувалася. До речі, і сьогодні на земній кулі не існує великих торф'яних родовищ, якщо коефіцієнт зволоження (співвідношення опадів і випаровування) менший від одиниці (Никонов, 1959).

Фітомасу в кам'яновугільному періоді складали залишки нижчих і вищих рослин. Водорості, бактерії, істинні гриби тощо у вуглеутворенні мали підрядне значення. Головним вихідним матеріалом була вища флора, в

основному, груп плауноподібних, членистостеблових, папоротей. Фаціальні умови зумовлювали склад рослинних асоціацій, нагромадження їхніх залишків, характер біохімічних перетворень органічної речовини (ОР), а також геліфікацію і фюзенізацію рослинних фрагментів.

Найбільш привабливими для геліфікації є фації стійкого і відносно стійкого обводненого застійного лісового болота з анаеробним середовищем. Геліфікації, насамперед, підлягають менш стійкі елементи: паренхімні тканини серцевини дерев, листя, стебел, трави, а також дрібні уламки деревини. Великі фрагменти деревини порівняно стійкі до розкладу через ускладнене проникнення мікроорганізмів у глибину тканини. Стійкими до розкладу є корові тканини, ліпоїдні компоненти (екзини мікро- і макроспор, оболонки пилку, кутикули листя тощо). Геліфіковані рослинні залишки в умовах згаданих фацій відзначаються сильним і відносно сильним біохімічним розкладом лігніно-целюлозних тканин, під час руйнування яких утворюється колоїдна, флюїдальна або гомогенна структура, подібна до безструктурного вітриніту. Геліфіковані рештки є основою вугілля генетичних груп колінітів і преколінітів.

В умовах фацій рухомих і відносно рухомих обводнених і слабо обводнених періодично проточних торф'яних боліт існувало переважно аеробно-анаеробне середовище, що зумовлювало фюзенізацію (карбонізацію) і часткову геліфікацію рослинних залишків. Завдяки карбонізації і сингенетичній мінералізації ці рослинні фрагменти часто зберігали ботанічну будову. Руйнуючись, вони утворювали, в основному, атритову і фрагментарно-атритову структури. У згаданих умовах формувалося вугілля генетичних груп телінітів і посттелінітів зі слабким і відносно слабким ступенем розкладу лігніно-целюлозних тканин.

На площі Донецького басейну фітомаса в ранньому і середньому карбоні нагромаджувалася переважно в умовах тектонічної стабільності. Домінуючою фацією рослинних залишків було сильно обводнене застійне лісове болото. У нижньокарбонівому вугіллі рослинні асоціації представлені (%): папоротями – 25–30 (із них птеридоспермів – 75); членистостебловими – 14–26; плауноподібними – 32–40 (Егоров, 1974). Ці групи рослин високі (до 40 м), з добре розвинутою первинною і вторинною деревиною; певне значення мали коренева система, листяна крона, спорангії.

Занурення торфовищ було повільним і тривалим, що забезпечувало здебільшого сильний розклад лігніно-целюлозних тканин і формування вугілля генетичних груп колінітів і преколінітів, кількість яких досягає 80 % (Петрогенетичні..., 2005).

На теренах Львівсько-Волинського басейну генетичні умови нагромадження фітомаси та її склад були дещо іншими. Торфотворна флора, поширена на площі басейну в ранньому карбоні, була представлена переважно деревними формами групи членистостеблових: лепідодендронами, сигіляріями, каламітами, висота яких сягала 10–40 м, з добре розвинутою корою, первинною і вторинною деревиною, а також стигмаріями. Серед них траплялися і водяні форми (сфенофіли) з дуже тонкими стеблами, зрідка із вторинним ростом у товщину, іноді присутні рослини групи папоротей. Це також крупні деревоподібні форми зі стовбурами, подібними до лепідодендронів, деколи з тонкими циліндрами, як у ліан. Траплялися кордаїти – дерева з міцними стов-

бурами з анатомічною будовою хвойних (Криштофович, 1957; Новик, 1974; Бартошинская, Бык, 1979). На деяких ділянках у низці пластів значно поширені сапропеліти – продукти озерно-болотних фацій (Бартошинская, 1971).

Тектонічний режим області торфонагромадження на початкових етапах формування нижньокарбонової товщі Львівсько-Волинського басейну в основному був спокійним. Повільно і плавно відбувалося занурення території, накопичення фітомаси і захоронення торфовищ, що зумовлювало тривалість біохімічних процесів розкладу ОР. Через неоднакову відстань територій торфонагромадження від берегової лінії спостерігається поліфаціальність умов розвитку рослинних асоціацій. Це приводило до утворення вугілля різних генетичних типів (7–10). Ближче до берега, у карбонатній і теригенно-карбонатній частинах товщі, склад вугілля за генетичними ознаками доволі одноманітний, причому переважає вугілля із сильно зміненою органікою, особливо це стосується низів візейського ярусу, де у вугіллі домінують генетичні типи груп колінітів і преколінітів.

У період нагромадження органічного матеріалу верхів візейського і серпуховського ярусів тектонічний режим площі басейну був менш стабільним, тому фаціальні умови змінювалися частіше і більш різко, зменшувалася тривалість біохімічних процесів, що вплинуло на характер розкладу ОР. Зросла роль генетичної групи посттелінітів. Вони характеризуються відносно неглибоким розкладом лігніно-целюлозних тканин, які часто зберігають свою рослинну ідентичність. Збільшувалася кількість генетичних груп лейптинітів і сапропелітів. Перші з них – це продукти фацій дуже стійкого сильно обводненого застійного, іноді проточного торф'яного болота, другі – богхеда і кенелі, які формувалися в умовах заростаючих озер з відкритим дзеркалом води і відносно стійких сильно обводнених застійних торф'яних боліт. Кількість генетичних типів вугілля цього періоду досягає 15.

Середньокарбонове вугілля башкирського ярусу за генетичними ознаками відрізняється від нижньокарбонового помітним збільшенням у його складі генетичних типів телінітової і посттелінітової груп, зменшенням лейптинітів і сапропелітів. Тобто, зростає роль слабко і відносно слабко розкладеного органічного матеріалу.

Крім вертикальної фаціальної різноманітності, у Львівсько-Волинському басейні фаціальна зональність спостерігається і по площі. До прикладу, фітомаса пласта  $n_7$  на півночі басейну (Нововолинський геолого-промисловий район) нагромаджувалася переважно в умовах фацій обводнених періодично проточних і слабко проточних, рухомих і відносно рухомих лісових торф'яних боліт (53 % площі), хімізм середовища яких неодноразово змінювався від аеробного до анаеробного, що відобразилося на складі фітомаси і процесах геліфікації і фюзенізації рослинних фрагментів, як наслідок, утворилося вугілля генетичних груп телінітів і посттелінітів.

У середній частині басейну (Червоноградський геолого-промисловий район) у межах пласта  $n_7$  найбільш поширені фації сильно обводнених стійких і відносно стійких застійних лісових торф'яних боліт з анаеробним середовищем (64 %). Такі фаціальні умови сприяли геліфікації, сильному розкладу лігніно-целюлозних тканин і утворенню вугілля колінітової і преколінітової груп.

На півдні (Південно-Західний вугленосний район) фітомаса пласта  $n_7$  відкладалася в умовах сильно обводнених стійких і відносно стійких застійних лісових боліт (46 %), де сформувалося гумусове вугілля генетичних груп колінітів і преколінітів. На площі вугленосного району значно поширені заболочені озера (озерно-болотні фації) (13 % площі), де накопичувалися сапропелі (переважно сапропеліти кенелевого типу), а також озера з відкритим дзеркалом води (11 % площі), де відкладався донний мул зі сапропелевим матеріалом. Загалом сильно обводнена площа нагромадження фітомаси пласта  $n_7$  у цьому районі становить 70 %.

У басейні з півночі на південь фаціальні умови змінювалися відповідно до тектонічного режиму, який у період нагромадження фітомаси на півночі був більш рухливим, а на півдні – відносно стабільним. Подібна закономірність спостерігається і по інших пластах.

Наведені вище дані щодо вихідного рослинного матеріалу вугілля, умов його нагромадження, ступеня біохімічного розкладу лігніно-целюлозних тканин свідчать, що вугільні пласти у вертикальному розрізі і по площі басейну формувалися в різних фаціальних умовах з неідентичної фітомаси, від складу якої надалі залежить зміна якісних показників у процесах торфо- і вуглеутворення, а також зменшення її об'ємів і характер ущільнення.

Проблемі зміни об'ємів фітомаси під час формування торфу і перетворення його в кам'яне вугілля присвячено відносно невелику кількість наукових праць. Причому більшість торкається усадки торф'яної маси в процесі утворення вугілля різних марок і лише в деяких з них наведено дані про ущільнення рослинної речовини в ряді фітомаса–торф. В обох випадках одержували неоднозначні результати. Можливо, це наслідки недосконалості застосованих методик або це пов'язано з тим, що не враховували багатьох генетичних й епігенетичних факторів формування торфу і вугілля.

До генетичних чинників належать процеси, що відбувалися в седиментогенезі, до епігенетичних – у метаморфічному ряді. У роботі О. К. Іванова (Про ступінь..., 1973) наводиться загальний огляд праць, присвячених вищезгаданому питанню, і доводиться, що основне ущільнення в ряді фітомаса–торф відбувається в седиментогенезі, де фітомаса зменшується у 20–40 разів (Егоров, 1974). Такий широкий діапазон усадки фітомаси можна пояснити її рослинним складом. Так, якщо в ній домінують трави, листя, тонкі стебла ліан, складені на 40–50 % паренхімою (що швидко розкладається і геліфікується), а також дрібними уламками деревної флори, чагарниками і залишками нижчих рослин (водоростей), її коефіцієнт ущільнення буде значно вищим, ніж фітомаси з деревних рослин, які навіть у високометаморфізованому вугіллі можуть зберігати свою ботанічну ідентичність. Так, для донецьких антрацитів характерною є присутність вітринізованих тканин деревини сигілярій, лепідодендронів, птеридоспермів, кордаїтів (Вырвич, 1975).

В обох випадках усадки фітомаси ускладнюють фюзенізація (карбонізація) та вміст мінеральних домішок, у т. ч. сингенетична мінералізація.

Про залежність ущільнення фітомаси від її рослинного складу свідчать проведені спостереження. Нижньокарбові торфовища північно-східного Казахстану, у яких органічний матеріал представлений чагарниками і травами, приростали із швидкістю 0,6–0,8 мм/рік; подібні торфовища Нідерландів

за останні 2000 років – 0,75–1,5 мм/рік; деревний торф у сучасних болотах Південної Америки – 2,4 мм/рік. Таким чином, для утворення 1 м торф'яного шару, залежно від рослинного складу фітомаси, потрібно 600–2500 років (Егоров, 1974).

Як зазначалося вище, діагенетичні перетворення геліфікованого матеріалу приводять до утворення гомогенної, колоїдальної, флюїдальної мікроструктур, притаманних вугіллю генетичних груп преколінітів і колінітів; перевага у фітомасі фюзенізованої речовини зумовлює формування атритової і фрагментарно-атритової мікроструктур, властивих вугіллю генетичних груп телінітів і посттелінітів.

Структурна впорядкованість помітно впливає на усадку фітомаси, яка буде значно більшою для вугілля, у складі якого переважають геліфіковані мікрокомпоненти, ніж для вугілля зі значним вмістом фюзенізованої речовини. Крім того, фюзенізовані компоненти набагато міцніші від геліфікованих і часто сильно мінералізовані.

О. Єгоров (Егоров, 1969) зазначає, що в епохи тектонічного спокою (інверсія тектонічного режиму) ущільнення фітомаси може бути однією з головних причин торфонагромадження, якщо одночасно не діють інші чинники тектонічного походження. На прикладі пласта  $l_2$  (Донбас) А. П. Феофілова (Феофілова, 1954) пояснює, що причиною збільшення потужності болотного ґрунту були не рухомість і розміри ложа басейну, а інтенсивність діагенетичних ущільнень болотних осадів. Найбільша усадка властива глинистим різновидам, найменша – піщаним.

Розрахунки коефіцієнтів ущільнення торф'яної маси в процесі вуглефікації, виконані різними дослідниками, змінюються в широких межах (Про ступінь..., 1973): торф–буре вугілля – 1,3–4,5; торф–антрацит – 2,0–9,4. На нашу думку, і в цьому випадку така розбіжність деякою мірою пояснюється генетичними особливостями торфу і вугілля. У метаморфічному ряді буре вугілля–антрацит на перетворення вихідної ОР біохімічні процеси впливають мало і лише на початковій стадії вуглефікації. Основну роль відіграють фізичні фактори – температура і тиск. Величину усадки, як і при седиментогенезі, обумовлюють такі генетичні чинники, як речовинний склад торф'яної маси, ступінь розкладу ОР, мікроструктура, мінеральні домішки, які в межах басейну як по площі, так і у вертикальному розрізі окремих пластів, як правило, неоднакові.

Згадані вище особливості зміни об'ємів фітомаси в седиментогенезі і торфу в метаморфічному ряді можуть пояснити характер усадки вихідної речовини вугільних пластів Львівсько-Волинського басейну.

За розрахунками, торф пласта  $n_7$  серпуховського ярусу нижнього карбону ущільнювався під впливом метаморфічних факторів у цілому по басейну в 3,45–6,81 рази. Таку розбіжність ми пояснюємо так.

У ранньому карбоні в басейні панувала деревна флора: лепідодендрони, сигілярії, каламіти та ін. Чагарники, трави, ліани мали підпорядковане значення. На півночі басейну (Нововолинський геолого-промисловий район) вихідна речовина вугілля пласта  $n_7$  нагромаджувалася переважно в умовах проточних лісових торф'яних боліт (53 % площі), в основному, в аеробному середовищі. Це сприяло карбонізації рослинних решток і, таким чином, збе-



реженню їхньої ботанічної будови. Лігніно-целюлозні тканини зазнавали слабого розкладу, що зумовлювало утворення атритової і фрагментарно-атритової мікроструктур та, як згадувалося вище, формування вугілля телінітової і посттелінітової генетичних груп. Завдяки таким особливостям фітомаса в седиментогенезі підлягала порівняно невеликому ущільненню. Вплив метаморфізму на цій ділянці також був незначним: стадія вуглефікації низька – I (марка Д). У середньому усадка в цьому інтервалі становить 3,8; у подібному донецькому вугіллі – до 4,5, тобто значно більше (Про ступінь..., 1973). Можливо, це пов'язано з відповідним речовинним складом і мікроструктурою досліджуваного вугілля.

Проведений аналіз наявних геологічних матеріалів щодо проблеми нагромадження фітомаси і зміни її об'ємів під час торфо- і вуглеутворення дозволяє відзначити таке:

– поширення і склад рослинних асоціацій, нагромадження фітомаси, глибина розкладу органічного матеріалу залежать від палеогеографічних і фаціальних умов території. Умови фацій стійких і відносно стійких обводнених лісових торф'яних боліт є сприятливими для формування генетичних груп вугілля з біохімічно сильнорозкладеними лігніно-целюлозними тканинами колінітів і преколінітів, а умови фацій рухомих і відносно рухомих обводнено-проточних лісових торф'яних боліт – для утворення вугілля генетичних груп телінітів і посттелінітів зі слабким і відносно слабким розкладом лігніно-целюлозних тканин. У першому випадку органічна маса набуває гомогенної, колоїдної або флюїдальної мікроструктури, у другому – переважно атритової та фрагментарно-атритової;

– зміна об'ємів фітомаси залежить від ряду генетичних і епігенетичних факторів. До генетичних належать процеси, що відбувалися в період седиментогенезу: в основному, це біохімічний розклад органічних рослинних залишків і втрата вологи, що призводило, залежно від складу фітомаси (трави, ліани, листя, чагарники, дрібні уламки гілок, фрагменти деревини), до її зменшення у 20–40 разів. У метаморфічному ряді буре вугілля–антрацит на перетворення вихідної рослинної речовини біохімічні процеси діють слабо і тільки на початковій стадії вуглефікації. Основними епігенетичними чинниками, які впливають на ущільнення торф'яної маси, є фізичні – температура і тиск, а також первинна глибина розкладу органічного матеріалу (генетичні групи) і мікроструктура (гомогенна, колоїдна, флюїдальна, атритова, фрагментарно-атритова). Загалом у метаморфічному ряді коефіцієнт ущільнення становить 1,3–9,4, тобто удесятеро менше, ніж фітомаси в седиментогенезі. Максимальний коефіцієнт ущільнення в процесі метаморфізму спостерігається в добре структурованій вугільній масі.

*Бартошинская Е. С.* Генезис и закономерности размещения сапропелитов в угленосной толще карбона Львовско-Волынского бассейна : автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. – Львов, 1971. – 21 с.

*Бартошинская Е. С., Бык С. И.* Исходное органическое вещество разновозрастных углей карбона Львовско-Волынского бассейна (по данным петрографических исследований) // Геология и геохимия горючих ископаемых. – Киев : Наук. думка, 1979. – Вып. 53. – С. 53–57.

- Вырвич Г. П.* Генетические типы антрацитов Донецкого бассейна // Тез. докл. VII Междунар. конгр. по стратиграфии и геохимии карбона. – М. : Наука, 1975. – С. 63.
- Егоров А. И.* Механизм накопления биомассы и формирования угольного пласта // Геология угольных месторождений : матер. III Всесоюз. совещ. по твердым горюч. ископаемым. – М. : Наука, 1969. – Т. 1. – С. 66–75.
- Егоров А. И.* Очерки угленакопления. – Ростов-на-Дону : Изд-во Ростов. ун-та, 1974. – 130 с.
- Криштофович А. Н.* Палеоботаника. – Л. : Гостоптехиздат, 1957. – 650 с.
- Никонов М. Н.* О предпосылках углеобразования в свете данных о современных торфяных залежах // Генезис твердых горючих ископаемых. – М. : АН СССР, 1959. – С. 52–53.
- Новик Е. О.* Закономерности развития каменноугольной флоры юга европейской части СССР. – Киев : Наук. думка, 1974. – 140 с.
- Петрогенетичні типи вугілля і фаціальні умови накопичення фітомаси вугільних пластів середнього карбону Донбасу* / Є. С. Бартошинська, І. В. Бучинська, С. І. Бик, О. М. Шевчук // Геологія і геохімія горючих копалин. – 2005. – № 2. – С. 15–29.
- Про ступінь ущільнення вугілля і порід Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну* / О. К. Іванов, В. О. Кушнірук, В. Я. Караваєв, Є. С. Бартошинська // Доп. АН УРСР. Сер. Б. – 1973. – № 2. – С. 114–117.
- Феофилова А. П.* О месте аллювия в циклах осадконакопления разного порядка и времени его образования // Аллювиальные отложения в угленосной толще среднего карбона Донбасса : Тр. ИГН АН СССР. – 1954. – Вып. 151. – С. 241–272.

Стаття надійшла  
02.06.09

**Svyatoslav BYK, Yelizaveta BARTOSHYNSKA, Olena SHEVCHUK**

#### **ACCUMULATION OF PHYTOMASS AND CHANGE OF ITS VOLUME IN PROCESS OF THE PEAT AND COAL FORMATION**

The distribution and composition of plant associations, the accumulation of phytomass and depth of the organic material decay depend on the existing paleogeographical and facies conditions in the territory of the coal formation.

For the formation of genetic groups of coal with biochemically deep-decayed lignin-cellulose tissues of collinite and precollinite the conditions of stable and relatively stable water-encroached forest peat bogs are required. Facies conditions of moving and relatively moving encroached-flowing forest peat bogs contribute to the coal formation of genetic type of telinites and posttelinites with weak and relatively weak decay of lignin-cellulose tissues. In the first case an organic mass acquires homogenous, colloidal or fluidal microstructure, in the second one mainly attrital and fragmentary-attrital.

Change of the phytomass volume in the process of the peat and coal formation depends upon a series of genetic and epigenetic factors. To genetic factors of the phytomass shrinkage belong the processes occurred during the period of sedimentogenesis, in the main these are biochemical decay of organic plant remains and loss of moisture that have led to decrease of its volume 20–40 times. In the metamorphic series brown coal-anthracite, biochemical processes have a considerably weak influence on metamorphosis of the initial plant substance: in case of the initial stage of coalification only. The main epigenetic factors influencing the compacting of the peat mass are temperature and pressure, as well as the primary depth of decay of the organic material (genetic groups) and macrostructure (homogenous, colloidal, fluidal etc.). On the whole, in the metamorphic series the compacting factor is 1.3–9.4, that is to say, tens times lower than that one of phytomass in diagenesis. Maximum compacting factor in the process of metamorphism is observed in case of well-structure coal mass.