

Биовъгленът - древна идея за почвите на бъдещето

В търсене на съвременни решения за възстановяване на почвите и борба с климатичните промени науката ни връща към един изненадващо прост и исторически изпитан подход – употребата на обикновения дървен въглен.

Биовъгленът обаче не е просто остатък от огън, а високотехнологичен материал, получен чрез пиролиза – контролирано нагряване на биомаса при ограничен достъп на кислород. Този процес превръща растителните, животинските или други органични остатъци в порест, богат на въглерод и сравнително устойчив продукт. Именно тази комбинация – оползотворяване на отпадъци, подобряване на почвеното плодородие и дългосрочно задържане на въглерод, поставя биовъглена в центъра на съвременните дискусии за устойчиво земеделие, възстановяване на деградирани терени, кръгова икономика и адаптация към климатичните промени.

За да разберем защо интересът към биовъглена нараства, трябва да обърнем внимание на самата почва. Често я възприемаме просто като пасивен фон за растителността, но тя всъщност е сложна жива система, съставена от минерални частици, органично вещество, вода, въздух, корени и милиарди микроорганизми. Когато съдържанието на органично вещество намалее, почвата губи структурата си, капацитетът ѝ за задържане на влага спада, хранителните елементи се отмиват по-лесно, а биологичната ѝ активност затихва. Това се превръща в сериозен проблем в условия на засушаване, ерозия, интензивно земеделие и прогресиращо обедняване на почвите.

Концепцията зад биовъглена е изключително ефективна – вместо органични-

те остатъци да се разлагат бързо и да освобождават въглерода си в атмосферата под формата на парникови газове, част от този въглерод може да бъде преобразуван в по-стабилна форма и върнат обратно в почвата. Историческите корени на тази концепция ни отвеждат в Амазония и към почвите Terra Preta de Índio (черна земя) – тъмни и необичайно плодородни участъци, съпътстващи древ-

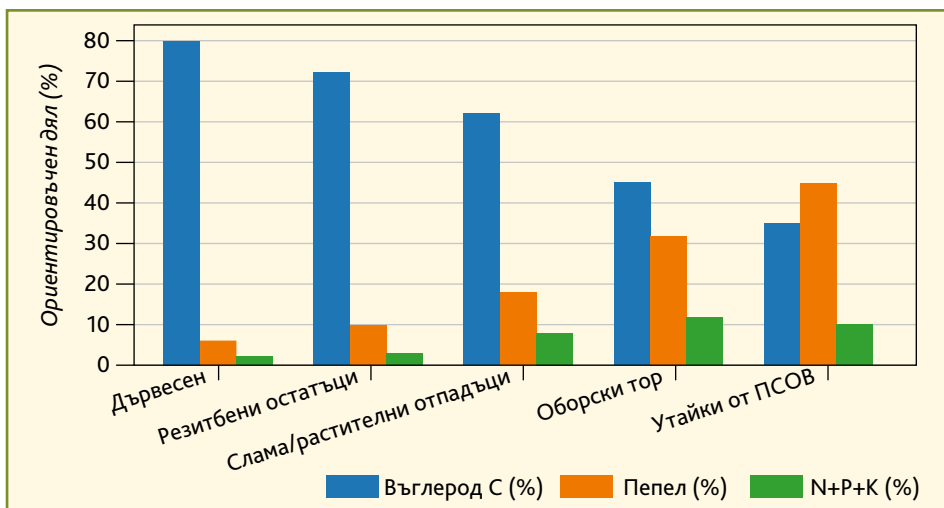
ните човешки селища. Още първите изследователи на региона забелязват, че тези почви се различават коренно от бедните кисели почви на околните силно изветрели тропически терени. В тях се откриват големи количества овъглена органична материя, керамични фрагменти, кости и хранителни остатъци – белези на вековна човешка дейност.

Макар Terra Preta да не е готова рецепта, която можем механично да копираме днес, тя е неоспоримо историческо доказателство, че човечеството е способно не само да изтощава земята, но и да създава по-богата и устойчива почвена среда. Тези древни черни почви показват нагледно как овъглената биомаса може да се съхрани в земята в продължение на хилядолетия, като същевременно прояви отлична влагозадържаща способност и осигури високо съдържание на органичен въглерод и дълготрайно хранително плодородие (сн. 1).

Съвременният биовъглен може да се произвежда от разнообразни суровини: дървесни отпадъци, слама, оризови люспи, лозови и овощни резитби, бамбук, оборски тор, компост, утайки от пречиствателни станции и други органични остатъци. Това определя и първата му ключова особеност – биовъгленът не е хомогенен продукт, а по-скоро цяло „семеиство“ от материали с различни свойства.

Дървесният биовъглен, получен при по-висока температура, обикновено се отличава с по-високо съдържание на стабилен въглерод, но е по-беден на хранителни макроелементи. Обратно – продуктът, произведен от оборски тор или пречиствателни утайки, е по-богат на фосфор, калий и минерали, но изис-





Фиг. 1. Сравнителен състав на основни типове биовъглен

ква строг контрол за наличие на тежки метали, соли и органични замърсители. Ето защо за качеството на биовъглена не може да се съди единствено по външния му вид. То се определя от произхода на суровината, технологията на производство и неговите сертифицирани лабораторни показатели (фиг. 1).

Температурата на пиролизата е решаваща. При по-високи температури част от летливите съединения се отстраняват, структурата на материала се насища с по-стабилни въглеродни връзки, а самият въглерод става по-устойчив на микробно разграждане. При по-ниски температури полученият биовъглен запазва повече функционални химични групи, което улеснява взаимодействието му с почвената среда в краткосрочен план. Размерът на частиците също играе важна роля: по-фините глинести частици имат по-голяма контактна повърхност и оказват бързо влияние върху химичните процеси, докато по-едрите подобряват физическите свойства на почвата – порьозност, въздушен режим и воден баланс. Ето защо въпросът не се свежда просто до това дали да се използва биовъглен, а точно какъв тип биовъглен е подходящ за конкретната почва, в каква доза и за постигането на каква цел.

В почвената среда биовъгленът действа едновременно на физично, химично и биологично ниво. Благодарение на силно порестата си структура той значително подобрява влагозадържането – ефект, който е особено осезаем при пясъчливи, бедни или деградирани почви, където влагата бързо се губи. Освен това в много случаи той намалява обемната плътност на почвения профил и подобрява аерацията, което улеснява кореновия растеж. Химичното му действие се определя пряко от неговия състав. Пепелната фракция на биовъглена чес-

то е богата на базични катиони, поради което при кисели почви той може да действа като мек варуващ материал за неутрализиране на киселинността. Повърхността му може да задържа амониев азот, калий, калций и магнезий и да повишава катионния обменен капацитет – способността на почвата да задържа и обменя хранителни елементи, предпазвайки ги от бързо отмиване в по-дълбоките почвени слоеве.

Биологичният ефект на биовъглена е по-комплексен, но не по-малко значим. Той не служи за директна храна на почвените микроорганизми по начина, по който го правят пресните растителни остатъци, тъй като по-голямата част от неговия въглерод е в устойчива форма. Неговата силно развита пореста структура обаче създава защитени микроместобитания. В тях полезните микроорганизми са предпазени от засушаване, естествени неприятелни (хищничество от по-едри организми) и резки колебания в химичната среда.

В зависимост от типа на почвата и свойствата на самия биовъглен това микроструктурно убежище може да стимулира ензимната активност, да обогати биологичното разнообразие и да оптимизира кръговрата на хранителните вещества. Ето защо е по-правилно биовъгленът да се определя като почвен подобрител (мелиорант), а не като тор в традиционния смисъл. Той не замества компоста, оборския тор или минералното хранене, а трансформира самата среда, в която водата, хранителните елементи, корените и микроорганизмите си взаимодействат. Точно поради тази причина редица съвременни изследвания подчертават синергичния ефект от комбинирането на биовъглен и компост. Биовъгленът осигурява трайна структура и стабилност, но често е беден на лес-

нодостъпни за растенията хранителни елементи. Компостът, от своя страна, е богат на хранителни вещества и е биологично активен, но се минерализира бързо в почвата. Когато двата материала се съчетаят, компостът ефективно „зарежда“ порите и повърхността на биовъглена с хранителни макроелементи и полезни микроорганизми, а биовъгленът, от своя страна, предотвратява тяхното отмиване. Затова в практиката все по-често се говори за зареден, компостиран или функционализиран биовъглен. Тази концепция е изключително ценна за фермери, общински предприятия по озеленяване и разсадници, тъй като прави материала по-предвидим и елиминира риска от временно изтегляне на азота от почвения разтвор.

Показателен пример в това отношение са резитбените остатъци. В много земеделски райони, паркове, лозя и овощни насаждения те традиционно се разглеждат като отпадъчен проблем: изгарят се на открито, депонират се или се оставят да гният без ясна полза. Научните изследвания показват, че директното внасяне на пресни растителни остатъци в почвата може да има фитотоксичен ефект поради съдържанието на полифеноли и други съединения, които потискат покълването и растежа. След преминаване през пиролиза този риск напълно отпада, а в много случаи полученият биовъглен дори демонстрира фитостимулиращо действие. По този начин отпадъкът от резитба се трансформира в ценен местен подобрител. Това обаче е възможно само тогава, когато производственият процес е прецизно контролиран, а крайният материал е преминал през необходимите лабораторни анализи.

Друг ключов пример за практическо приложение са деградиралите градски почви. Те често са силно уплътнени, компрометирани от строителни отпадъци, бедни на органично вещество и с дълбоко нарушен водно-въздушен режим. В подобни неблагоприятни условия биовъгленът може трайно да подобри почвената структура и същевременно да повиши съдържанието на органичен въглерод, фосфор и калий. Проучванията върху прилагането на биовъглен, произведен от утайки от пречиствателни станции, показват значително увеличаване на растителната биомаса при тези бедни градски терени. Същевременно обаче научните анализи поставят ясна граница: утайките често са обременени с тежки метали, соли и други токсични замърсители. Ето защо този тип биовъглен може да се разглежда като ценен ресурс единствено при безкомпромисен анализ на

входящата суровина, прецизен контрол на пиролизата, балансирано дозиране и строго целево приложение. Той е изключително подходящ за техническа рекултивация на нарушени терени или за градско ландшафтно озеленяване, но не и за безразборна употреба при производството на хранителни култури.

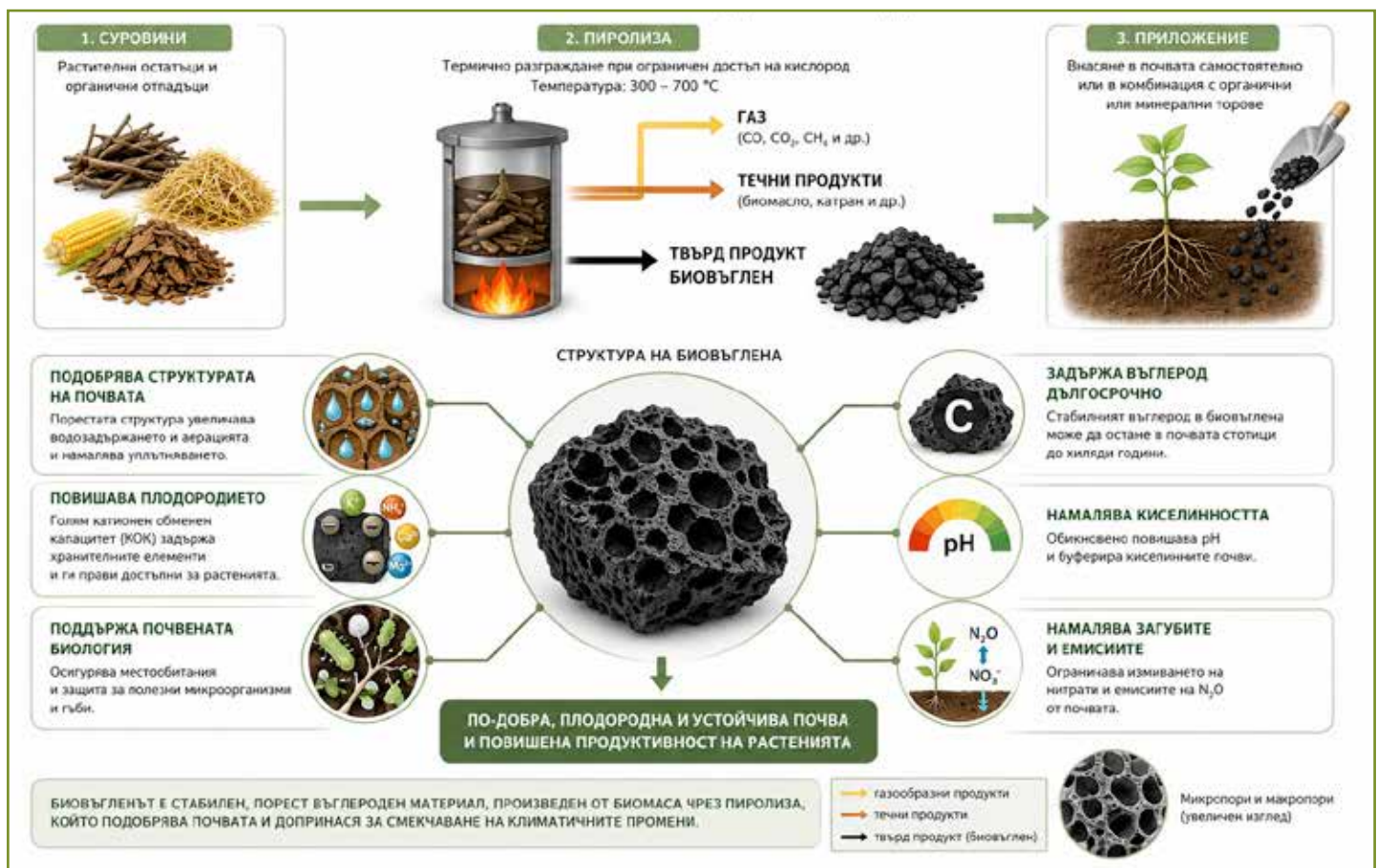
При оризищата и други интензивни агроекосистеми биоугленът разкрива още едно свое ключово свойство – способността му да взаимодейства активно с минералните торове и микробните общности. Експерименти със сламен и бамбуков биоуглен, приложени в комбинация с минерално торене, показват повишаване на стойностите на рН, оптимизиране на катионния обменен капацитет и увеличаване на количествата на усвоимите форми на фосфор и калий. Наред с това се наблюдават положителни промени в структурата на микробните съобщества, включително повишаване на индексите им за биологично разнообразие. Това не означава, че биоугленът автоматично ще елиминира нуждата от торене, но е доказателство, че той може значително да повиши ефективността при усвояването на хранителните вещества. В крайна сметка най-важният практически въпрос остава тясно локален: доколко конкретният тип

материал, внесен в определена почва и при специфична култура, е способен да осигури стабилен и устойчив във времето резултат?

Климатичният аргумент в полза на биоуглена се основава главно на неговата изключителна устойчивост във времето. Когато сламата, листата или дървесните остатъци се разлагат по естествен път, по-голямата част от съдържащия се в тях въглерод бързо се връща в атмосферата под формата на въглероден диоксид (CO_2). При контролирана пиролиза обаче значителен дял от този въглерод се превръща в по-трудно разградима форма, която е способна да се съхрани в почвения профил в продължение на десетилетия, векове, а при оптимални условия – и по-дълго време. Това превръща биоуглена в мощен инструмент за дълготрайно улавяне на въглерод и за развитието на т.нар. въглеродно земеделие (carbon farming). Екологичната полза обаче трябва да се оценява цялостно – на базата на пълния жизнен цикъл на продукта. Това включва събирането на биомасата, нейния транспорт, енергийните разходи за производство, емисиите по време на пиролизния процес, дългосрочната стабилност на крайния продукт и неговото влияние върху почвената екосистема. Когато за суро-

вина се използват отпадъчни ресурси, които в противен случай биха изгнели или биха били изгорени неконтролируемо, въглеродният баланс е категорично положителен. Ако обаче за целта се експлоатира ценна първична биомаса или самият технологичен процес е енергийно неефективен, нетният климатичен ефект се обезценява (фиг. 2). Точно в това направление е решаваща ролята на международните стандарти. Водещи организации като Международната инициатива за биоуглен (International Biochar Initiative) и Европейският сертификат за биоуглен (European Biochar Certificate) категорично подчертават, че за да бъде един продукт безопасен за околната среда, той трябва да бъде напълно проследим, детайлно анализиран и произведен при строго контролирани технологични условия.

Качествената оценка и сертифицирането на материала задължително включват показатели като общ органичен въглерод, дългосрочна стабилност, рН, електропроводимост, съдържание на пепел и хранителни макроелементи, както и нива на тежки метали и потенциални органични токсиканти, сред които полицикличните ароматни въглеводороди (ПАВ). На пръв поглед два продукта могат да изглеждат идентично черни, леки



Фиг. 2. Биоуглен – схема на производство и действие в почвата

и порести, но единият да бъде високо-ефективен почвен подобрител, а другият – сериозен екологичен риск. Биовъгленът не трябва да се възприема като модерна добавка, а да се разглежда като прецизен технологичен продукт с ясна спецификация и сертифициран произход.

Заедно с ползите съществуват и няколко основни заблуди, които трябва да бъдат избягвани. Първата е, че всеки биовъглен е универсално полезен за всеки тип почва. При кисели почви внасянето на алкален биовъглен може да има положителен ефект, но при карбонатни или алкални почви същият материал може да остане без видим резултат или дори да предизвика хранителен дисбаланс. По подобен начин – при леки пясъчливи почви ефектът върху влагозадържането е незабавен и очевиден, докато при тежки глинести терени резултатите зависят изцяло от специфичната структура на материала и начина на неговото внасяне. Втората широко разпространена заблуда е, че биовъгленът е безопасен само защото е „естествен“ продукт. Както вече стана ясно, неговата екологична безопасност се определя изцяло от качеството на входящата су-

ровина и прецизността на пиролизния процес. Третият мит е, че биовъгленът сам по себе си може да реши глобалната климатична криза. Неговата реална сила не се крие в мащабните и гръмки обещания, а в практическите ситуации, при които той успешно решава няколко локални проблема: оползотворяване на органични отпадъци, подобряване на бедни почви, оптимизиране на водния и хранителния режим и дългосрочно консервиране на въглерода в земята.

Оценката на биовъглена започва още преди самото му производство – с избора на входящата суровина. Чистата дървесна биомаса, сламата или резитбени-те остатъци обикновено представляват по-безопасна основа, но полученият от тях краен продукт е по-беден на хранителни елементи. Обратно – пречиства-телните утайки, суровините от животин-ски произход и някои фракции битови отпадъци могат да бъдат значително по-богати на минерални вещества, но използването им изисква изключително строг качествен контрол и отговорност при управлението на риска. След приключване на пиролизния процес е критично важно да се определят и сер-

тифицират поне няколко базови показателя: реакция на средата (pH), електропроводимост, съдържание на стабилен въглерод, пепелно съдържание, макро- и микроелементи, както и нива на тежки метали и органични замърсители. Без тези аналитични данни всяко почвено внасяне се извършва практически „на слляпо“. Тези параметри може да изглеждат твърде специфични, но за практиката те са от решаващо значение: два при-видно идентични черни прахообразни материала могат да имат коренно раз-лично и дори противоположно действие в почвената среда.

Не бива да се подценява и съществе-ната разлика между лабораторните из-следвания и реалните полски условия. При вегетационните опити в контроли-рана среда (например в саксии) параме-три като влажност, температура и доза се регулират лесно, поради което търсе-ните ефекти често се проявяват бързо и отчетливо. На полето обаче почвената система е несравнимо по-комплексна: тя се влияе от динамиката на валежите, периодите на засушаване, дълбочината на кореновите системи, активността на почвената мезофауна, сезонните клима-



Фиг. 3. Почвен профил: преди и след приложение на биовъглен

тични колебания и конкретните стопански практики. Поради тази причина даден материал може да демонстрира отличен ефект при лабораторен тест за покълване, но да даде значително по-слаб или по-бавен резултат в реална обстановка. Това в никакъв случай не обезценява лабораторните проучвания – те служат като първичен филтър за екологична безопасност и ни помагат да разберем основните механизми на действие. За да се стигне обаче до научно обосновани и приложими в практиката препоръки, тези изследвания задължително трябва да бъдат последвани от дългосрочно проследяване и мониторинг.

Особено важна е дозата на приложението. Минималните количества могат да останат без видим ефект върху почвените свойства, докато прекомерно високите количества рискуват да повлияят върху pH, солевия режим или достъпността на хранителните елементи за растенията. Ето защо добрата практика изисква да не се започва директно с максимални норми, а да се направи прецизно сравнение между контролен вариант (нетретирана почва), чист компост, чист биовъглен и смес от биовъглен и компост. Подобен подход позволява да се установи дали реалната полза се отразява на самия биовъглен, на прекия хранителен принос на компоста, или идва от съчетанието между двата материала. Това разграничение е от ключово значение за производствените стопанства, които се стремят към реална икономическа ефективност, а не просто към постигането на изолиран експериментален резултат.

Научната литература от цял свят категорично потвърждава сериозния потенциал на биовъглена, но същевременно предупреждава той да не се възприема като чудодейно средство или панацея. Основните му доказани предимства са свързани с подобряването на влагозадържането, повишаването на хранителния капацитет на почвите, създаването на микроместообитания за полезната микрофлора и дългосрочното стабилизиране на въглерода (фиг. 3). Наред с това обаче учените поставят акцент върху съпътстващите рискове, строгите международни стандарти и нуждата от качествен контрол на входящите суровини. Общият извод остава балансиран и практичен: прилагането на биовъглен има реален екологичен и стопански смисъл единствено тогава, когато той е интегриран като част от цялостна система за устойчиво управление на почвите, а не когато се използва като изолиран, самостоятелен компонент.

България разполага със значителен

ресурс от разнообразни земеделски, горски и градски органични остатъци – лозови пръчки, отпадъци от овощни резитби, слънчогледови и житни остатъци, дървесни отпадъци от дърводобива и санитарните сечи, както и зелена биомаса от градските паркове и градини. Същевременно редица наши региони са изправени пред сериозни екологични предизвикателства като засушаване, водна и ветрова ерозия, прогресираща загуба на почвено органично вещество (хумус) и необходимост от оптимизиране на минералното торене. Това в никакъв случай не означава, че биовъгленът трябва да се внася масово и безогледно. Напротив, най-рационалният подход изисква изграждането на пилотни локални системи: прецизен подбор на чиста изходна суровина, контролиран пиролизен процес, детайлен лабораторен анализ на крайния продукт, последващо смесване с компост или оборски тор и контролирано изпитване върху няколко представителни за страната почвени типа. Подобни научно-практически експерименти биха имали огромна стойност в интензивното овощарство и лозарство, горските и декоративните разсадници, градското ландшафтно озеленяване, при техническата рекултивация на нарушени терени и райони с критично нисък капацитет на влагозадържане.

Един успешен пилотен проект би трябвало да стартира не с мащабни обещания, а с прецизно планиран и контролиран алгоритъм. Например община или земеделска кооперация, генерираща значителни обеми резитбени и зелени отпадъци, би могла да ги сортира, изсуши и преработи в сертифицирана пиролизна инсталация. Полученият биовъглен задължително трябва да премине през лабораторен анализ за определяне на неговото pH, електропроводимост, съдържание на органичен въглерод, пепел, макро- и микроелементи, както и за евентуални замърсители. След това материалът може да бъде тестван както самостоятелно, така и в смес с компост върху няколко специфични обекта: леки пясъчливи почви, кисели терени, градски почвени субстрати и нарушени площи, подлежащи на рекултивация. Последващият мониторинг е необходимо да обхване динамиката на почвената влага, промените в съдържанието на органичен въглерод, нивата на pH и достъпните хранителни вещества, развитието на растителността, както и икономическата себестойност на процеса спрямо потенциалните рискове. По този начин дебатът ще се измести от теоретичното „добър ли е биовъгленът

по принцип“ към практически значимото „къде, в какви дози, от каква суровина и при каква икономическа цена неговото приложение е напълно оправдано“.

Всъщност най-значимото достойнство на биовъглена е, че той фундаментално променя философията ни по отношение на органичните остатъци. Листната маса, сламата, черупките от ядки, лозовите пръчки, дървесните отпадъци и различните фракции от градските органични потоци вече не се разглеждат просто като отпадъчен проблем, изискващ логистични разходи за извозване или екологично компрометирано изгаряне. Напротив – те се трансформират в ценна суровина за производство на високофункционален подобрител, който се връща обратно в почвата с изцяло нова роля. Това е кръговата икономика в нейния най-чист и буквален смисъл: усвоеният от растенията въглерод се консервира и остава в непосредствена близост до мястото на неговото улавяне, вместо веднага да се освободи в атмосферата под формата на парникови емисии. В условията на прогресиращо затопляне и засушаване на климата подобни технологични решения ще стават все по-важни. Причината е, че почвите ни ще бъдат поставени под нарастващ натиск да задържат по-големи обеми влага, да минимизират загубите на хранителни елементи и да поддържат устойчива и стабилна биологична активност.

В крайна сметка биовъгленът е едновременно древна следа в почвената памет и съвременна високотехнологична концепция. Историческият урок от феномена Terra Preta ни доказва, че човешката дейност е способна да създава дълготрайно почвено плодородие, а не само да го изчерпва и деградира. Научният извод от съвременните изследвания ни напомня, че реалният ефект винаги зависи от строго специфичното взаимодействие между характеристиките на материала, типа почва, дозата, фактора време и начина на приложение.

Практическият урок е, че най-успешните решения винаги ще бъдат локални: основани на местна биомаса, съобразени с местните почвени нужди и проследявани чрез дългосрочен мониторинг. Ако се прилага като универсален „магически прах“, биовъгленът лесно може да доведе до разочарование и икономически загуби. Но ако се използва като научно анализиран подобрител и елемент от по-широка система за устойчиво управление на органичните ресурси, той може да се превърне в дълготраен и незаменен съюзник на почвата.

Д-р инж. Павел ПАВЛОВ