Почвата – мълчаливата, забравена вселена под краката ни

Мариела Стойкова

От висотата на своето модерно съществуване хората все повече губят усет за базовите неща в живота. А едно от най-базовите е под краката им и от него зависи живота на планетата – черната, прашна, понякога кална маса, която прегазваме, за да достигнем илюзорните си житейски цели – и която, както всяко истинско нещо, оценяваме едва когато започнем да губим. Почвата всъщност е животворна среда, най-незабележимата, но и единствена система на сушата, на чиято устойчивост се крепи цялата ни позната цивилизация.

Тази статия поставя една амбициозна цел – да повиши интереса към почвата, като представи основните стълбове на нейната комплексна същност, факторите, които я определят и тяхното разнообразно съчетаване, довело до формирането на богатата почвена покривка на България. „Няма нищо по-постоянно от промяната“ е казал Хераклит. Разбира се, тази мисъл може да важи за която и да е област или дори нюанс от човешкия живот – от Константата на Планк, та чак до целокупната Вселена. С пълна сила тази идея важи и за почвата (земята/пръстта) – защото тя в известен смисъл е жива тъкан, която покрива почти цялата повърхност на земната суша.

Почвата е непрекъснато променящ се организъм, съчетал в себе си в динамичен баланс четирите елемента, които древногръцкият философ Емпедокъл определя като основа на Вселената – земя, въздух, огън и вода. В нея, и върху нея, обитават живите организми и тя е подходяща среда за тях – точно този глобален климат и точно този наклон на земната ос. Ако бяха други – всичко щеше да е съвсем различно.

Когато подготвях дисертацията си по Почвознание и отидох с безброй въпроси при моя научен ръководител, след третия въпрос той ме спря и каза: „Разбери, почвата е среда в динамично равновесие, не можеш да разглеждаш отделно всеки неин фактор и детайл – те непрекъснато действат ЗАЕДНО". И тогава прозрях, че нейната същност е промяната. И по-точно – непрекъснатото търсене на баланс, като във всяка физикохимична система.

Човешкият ум не би могъл да обозре съществуващите преплитащи се и взаимозависими физикохимични системи в познатата ни и непозната Вселена, по чиито закони всичко се променя и преобразува. От гледна точка на Геохимията, чиито обект е атомът и неговите трансформации в променливата природа, като базова основа за сравнения стои *атомното количество,* представено от броя атоми в системата.

Първата и най-важна константа за нашата Вселена е..., че тя е водородна. Да, ние всъщност сме малка чистица от една Водородна Вселена! Вселената на най-малкия, първия и абсолютно преобладаващ родоначалник на всички останали елементи. *На всеки 1000 атома във Вселената 920 са водородни (H), 78 хелиеви (He) и останалото е за другите над 100 елемента от Периодичната система.* Тоест, в космически план, ние, както и Земята ни, сме космическа рядкост, сгъстяване, феномен!

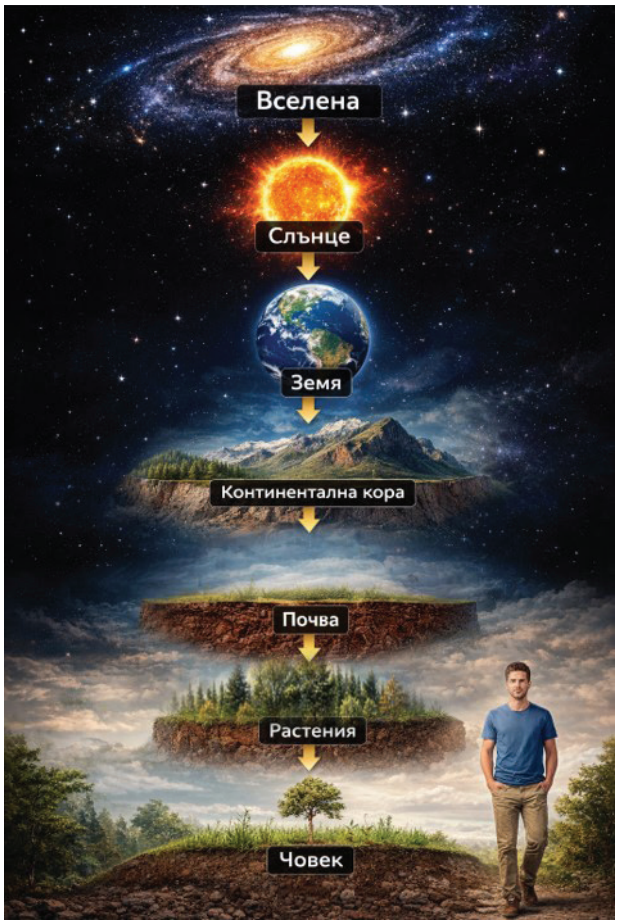


Схема на Вселената и мястото на човека в нея

За Слънцето, като термоядрен газов реактор за синтез на елементи от водородни ядра, в което е концентрирана 99,8% от масата на Слънчевата система, съотношението е почти запазено. Но навлизайки все по-дълбоко в микрокосмоса, където са метеоритите и нашата Земя, нейната твърда кора, почвата, която я покрива, растителността по нея и най-накрая – Човекът, можем да проследим необратимата еволюция на веществото и какви мощни концентратори са живите и неживи системи и почвата като междинна среда между тях.

Виждаме колко „по-метална" е Земята, богата на желязо

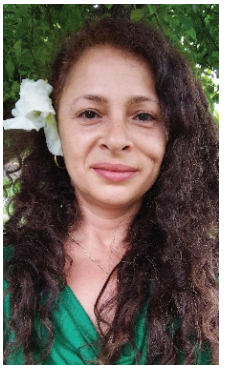
(Fe), никел (Ni) и манган (Mn), съсредоточени в нейното тежко метално ядро, как по силата на гравитацията земната ѝ кора е обогатена с по-леките, изкачили се към повърхността алкални (K, Na) и алкалоземни метали (Ca), подредени в силиций (Si) – алуминий (Al) – кислородната (O) матрица. Виждаме, че земята ни, почвата и метеоритите са всъщност кислородни материи, а растенията и човекът са на практика флуидни системи, структурирани от въглеводороди (C – H), азот (N), фосфор (P), сяра (S) и калций (Ca), функциониращи във водна среда (H_2O), с най-близко до космоса и Слънцето съдържание на водород – на същите първични водородни атоми, произлезли директно от Големия взрив!

При този системен подход комплексният характер на почвата ясно изпъква. Тя наследява и концентрира Si-Al кислородната (O) структурна основа от майчината континентална кора, но също и натрупва в себе си елементите на живата материя – C, H, N, продукт от жизнената дейност на многообразния живот, който почвата поддържа – от микроорганизмите, та чак до Пандо – най-големият жив организъм на планетата, трепетликова гора в щата Юта (САЩ), като дърветата имат обща коренова система и на практика са един организъм. При това сравнение най-ясно се вижда главната отличителна черта на почвата, в сравнение с всички останали твърди земни материи – тя е жива!

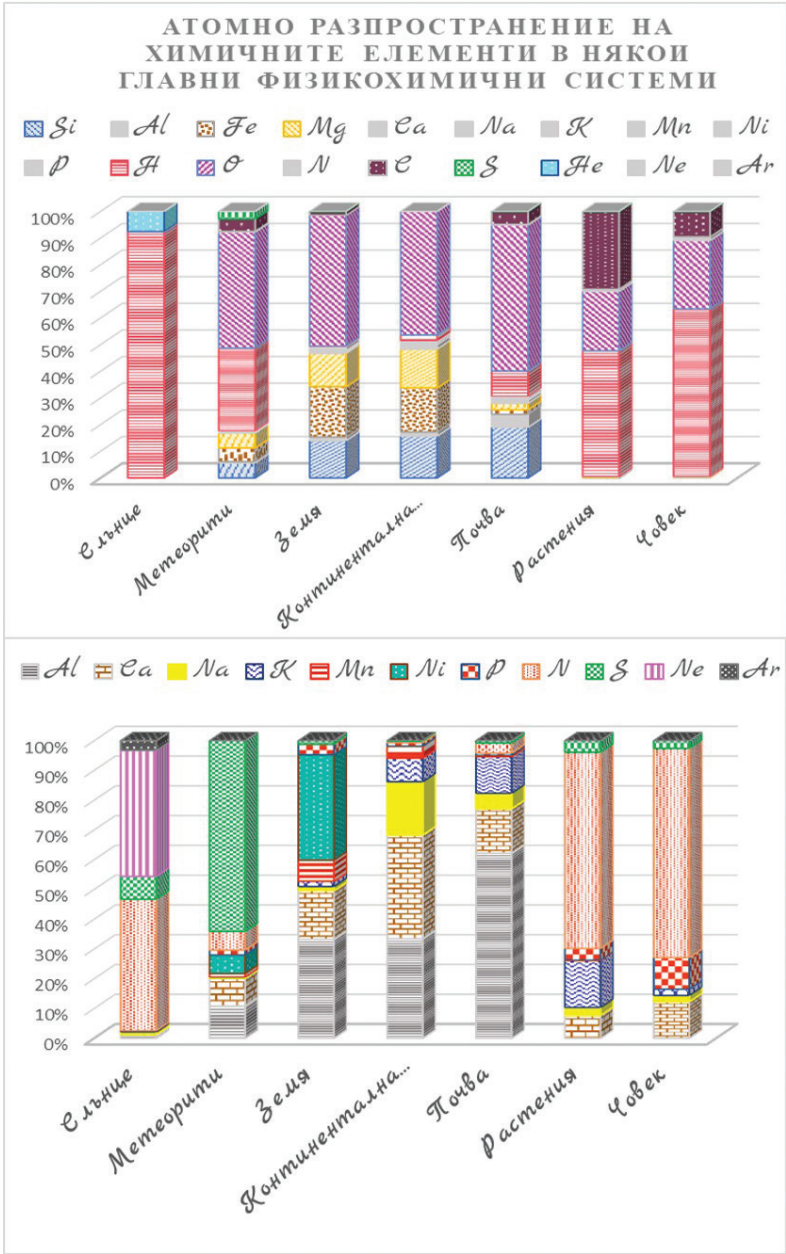
И освен, че е Действие, тя е и Живот. Което всъщност е едно и също.

И така почвата отново се превръща в метафора за човешкото съществуване.

А животът, който кипи в нея е не само нейната движеща сила, но и основоположник и единствен фундамент за всичко живо на сушата, с главен двигател – господстващите в биосферата на Земята *микроорганизми*. Почвата е едно от „големите пет" местообитания, заедно с дълбокия океански подповърхностен слой, с горния океански седиментен слой, с дълбокия континентален подповърхностен слой и океаните, където са концентрирани повечето бактерии и археи на Земята, съставляващи около $1{,}2 \times 10^{34}$ клетки – самостоятелно функциониращи организми. При сравнение със самостоятелно функциониращите многоклетъчни организми, които по приблизителни оценки са око-



Гл. ас. д-р Мариела Атанасова Стойкова е родена на 6 май 1976 г. в с. Цар Самуил, обл. Силистра. Завършва бакалавърска степен по Геология през 2000 г. в СУ „Св. Кл. Охридски", а след това има магистърска програма по Геохимия в СУ. През 2021 г. защитава дисертация в Институт по почвознание, агротехнологии и защита на растенията (ИПАЗР) „Никола Пушкаров", изследвайки поведението на повече от 50 елемента в замърсените почви на бившия МК „Кремиковци". Участва като член или ръководител в проекти, свързани с биологично възстановяване на замърсени почви, класификация на почвите и почвена геохимия.



Атомно разпространение/брой атоми на химичните елементи, нормирани към 10 000 атома Силиций (Si) в различни по ранг физикохимични системи. Горе – главни елементи приравнени към 100%; Долу – остатък от второстепенни елементи, приравнени към 100%. По преизчислени и синтезирани данни на Войткевич, 1973; Taiz et al., 2023; Gyuton & Hall, 2016; Kabata-Pendias, 2010)

ло 10^{18} – 10^{19} индивида, се оказва, че 99,999999% от самостоятелно функциониращите и най-важното – метаболитно активни организми на планетата са микроорганизми. Ето колко значими са те! Това днес се отбелязва и от Изкуствения интелект, който написа: „Многоклетъчният живот представлява статистически пренебрежима „надстройка" върху микробната биосфера, която доминира Земята по брой организми, по метаболитна активност и по геохимично въздействие."

Ето колко редки сме ние!

За почвата и изобщо за живота на висшите сухоземни организми, микроорганизмите са първостепенни по важност, защото задават посоката и движат процесите, обуславящи почвеното плодородие. Милиарди години преди да се появят първите многоклетъчни сухоземни организми (преди повече от 400 млн. г.), микроорганизмите са единствените устойчиви обитатели на суровата скална суша. Подготвят я, структурират я, оживяват я и я правят хранителна среда за бъдещите поколения живот, чрез концентриране на атмосферен азот и въглерод в нея, непосредствено трансформирани от тях в биогенни форми на присъствие, твърди астробиоложката Фабия Батистуци (Fabia Battistuzzi) в публикация от 2004 година. Най-интересното е, че някои от тях продължават да изпълняват абсолютно същите функции и днес. Цианобактериите, например, познати като синьо-зелени водорасли, са неизменни на Земята вече повече от 2,5 млрд. години и изпълняват все същите функции, както и тогава – първична фотосинтеза, фиксация на CO_2, отделяне на кислород в атмосферата, натрупване на протопочвена микробиална органична кора, стабилизиране на минерални повърхности. Толкова са устойчиви тези „вечни" стопани на планетата, че и днес формират директни съвременни аналози на някогашните сухоземни микробни общности – в пустини, полярни райони, по оголените скални терени и на много други места.

Почвеният микробиом, изцяло подчинен на климата, задава посоката на почвена еволюция чрез различни механизми, повлияни от основните променливи климатични параметри – количество вода и температура. Тези параметри са регулатор на всички аспекти на микроорганизмовия живот – на таксономичното разнообразие, съотношението, общото съдържание на видовете и тяхната биохимична активност. Две са основните групи почвени микроорганизми, указващи хода на почвените процеси – *бактерии и гъби*. Към тях в подчинен брой се включват винаги и археи, протисти, вируси и др., в зависимост от местообитанието. Глобално, бактериите съставляват 70 – 80% от всички самостоятелно функциониращи микроорганизми в почвите, а гъбите 10 – 20%, но огромната биохимична активност на гъбите идва от тяхната маса, която изгражда 40 – 60% от почвеното микробно тегло, за сметка на по-леката бактериална маса, чиито дял е 30 – 50% от него. Ключови са топлолюбивите и особено влаголюбивите особености на двете големи групи микроорганизми. Бактериите са по-активни при по-високи температури (оптимални 20 – 35°C) и умерена влажност, гарантираща достъп и на въздух. При всички други условия – студ, обилна влага или засушаване, гъбите постепенно завземат доминацията, а това винаги води до деградация на почвата, тъй като продуктите на тяхната жизнена дейност са силно киселинни и разрушителни за почвената

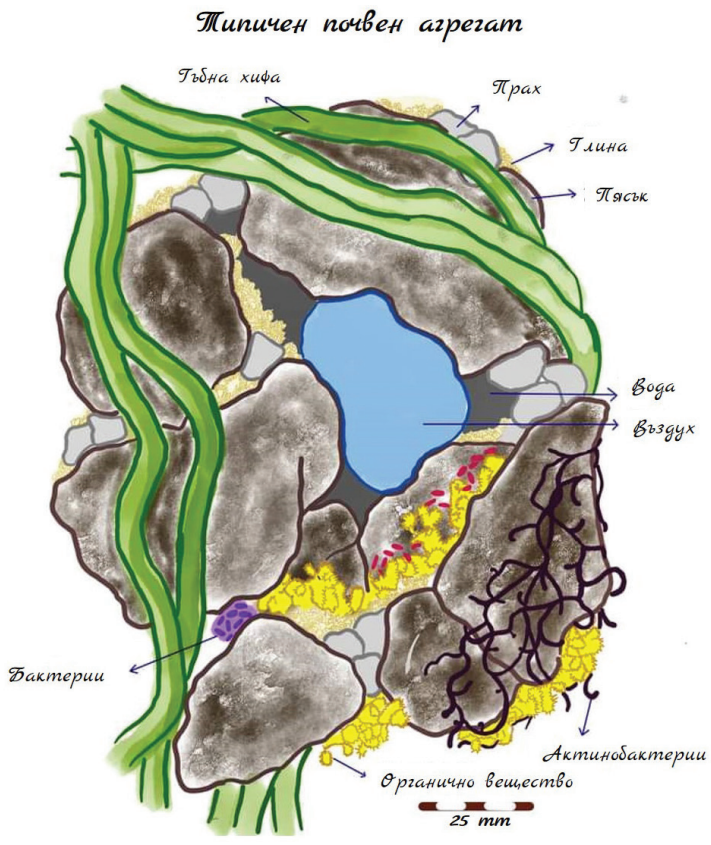
структура, за разлика от бактериалните продукти. Важна разлика между двете групи е и необходимостта от непрекъснат хранителен поток от свеж органичен материал за бактериите, което за гъбите не се отнася. Поради свързаността им чрез мицели, те пренасят храна и вода помежду си и така балансират своя общ подземен организъм на големи разстояния.

В почвознанието са въведени три термина, характеризиращи почвения хумусен хранителен слой, продуциран при определени условия от различни по състав микроорганизмови съобщества – Сладък/Мул (Mull) хумус, Междинен/Модер (Moder) и Кисел/Мор (Mor) хумус. Сладкият хумус, ключов за почвеното плодородие, се образува в изобилна бактериална среда, при близка до неутрална реакция и е продукт на степна и ливадна растителност главно в умерените ширини. В генерирането на междинния хумус участие взимат поравно бактериите и гъбите, главно в райони на широколистни гори и преходни зони с тревиста и дървесна растителност, докато киселият хумус се образува там, където властват гъбите – в иглолистните гори, тундрите, високите планински ливади и др.

Изобщо, със своята активна биохимична дейност микроорганизмите са един от най-важните потенциал-определящи компоненти на почвата. Те са малките неподозирани биохимични реактори, които, като че ли по силата на висша умисъл, незабележимо осигуряват баланса на планетата в познатия ни от хилядолетия вид, затова навсякъде в текста нататък често ще се връщаме към тях.

За да се познава добре почвата като самостоятелно обособена система, е необходимо да се познават най-малките ѝ градивни единици – почвените агрегати – сумарен веществен запис на всички протекли почвообразувателни процеси. Агрономически ценният идеален агрегат – основа на всяка здрава почва, е изграден от скелет от песъчинки и прах, неправилно подредени, оформящи кухини за въздух, вода и микроорганизми и слепени от новообразувани глини, хумус, железни и алуминиеви оксиди и хидроксиди. Последните – слепващите вещества, наречени още ***Почвен поглъщателен комплекс (ППК)*** поради активния им електричен заряд, с който задържат хранителните вещества в почвата – са с ключова роля за изпълнението на нейното най-важно свойство – плодородието. Хранителни вещества наричаме K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Fe^{2+}, Mn^{2+}, Zn^{2+}, Cu^{2+}, NH_4^+ и отрицателно заредените NO_3^-, SO_4^{2-}, $H_2PO_4^-/HPO_4^{2-}$ и др. При разрушаването на тези структуриращи слепващи компоненти стартират верижни промени в много посоки с ключов първи елемент – загубата на почвения въздух. Стига се до разпрашяване при суша и задържане на вода при дъжд, катализиращо промяна на окислително-редукционния почвен режим, който от своя страна е изцяло нова среда за кореновите системи на растенията – среда, която става причина за тяхното линеене и нежизнеспособност. И т.н.

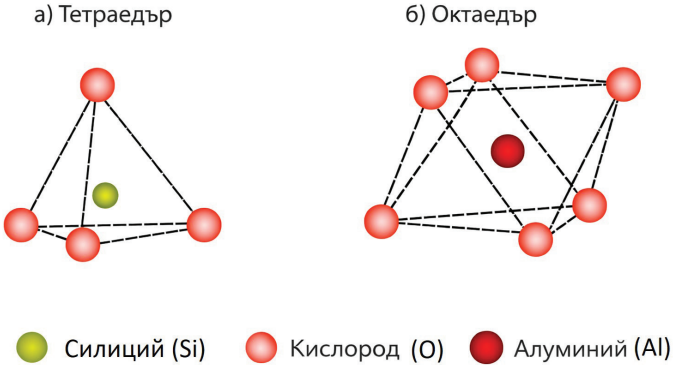
А кое е ключово за стабилността на Почвения поглъщателен комплекс? Една е важната съставка, ключова за 70% от световните почви, включително българските – калцият, който е безалтернативен и критичен не само за здравето и състоянието на почвата, но и на почвения биом и на растителността, която почвата изхранва. Той е другият основен стълб, определящ почвения характер, устойчивост, буферни свойства и плодородие. Няма друг елемент,



Типичен почвен агрегат. По Diallo, 2005

който може да замени калция с неговата двойна положителна валентност, оптимален йонен размер (≈ 100 pm) и по-слаба хидратация на йоните, в така изградената планетарна почвена система на умерените и по-студените ширини. Ето защо:

В основата на литосферната минералогия (Литосфера е най-външната скална кора на Земята) стоят силициевите и силиций-алуминиевите минерализации, изграждащи съответно близо 90% и 60% от литосферата на Земята, кристализирали в състава на магмени и метаморфни скали, дълбоко в недрата ѝ при несравними с повърхностните температури и налягане. Например, в района на Чепеларе в Родопите има диамантоносни гнайси, част от Родопския метаморфен комплекс, кристализирали на дълбочина над 120 km, при повече от 35 000 атмосфери налягане (3,5 – 4,6 GPa) и 700 – 800 °C температура. Достигайки до земната повърхност тези скални комплекси попадат в напълно различни условия, при което стартират механични и спонтанни химични промени, водещи до ***преобразуване*** на първичните минерални структури в термодинамично по-изгодни нови такива. Така

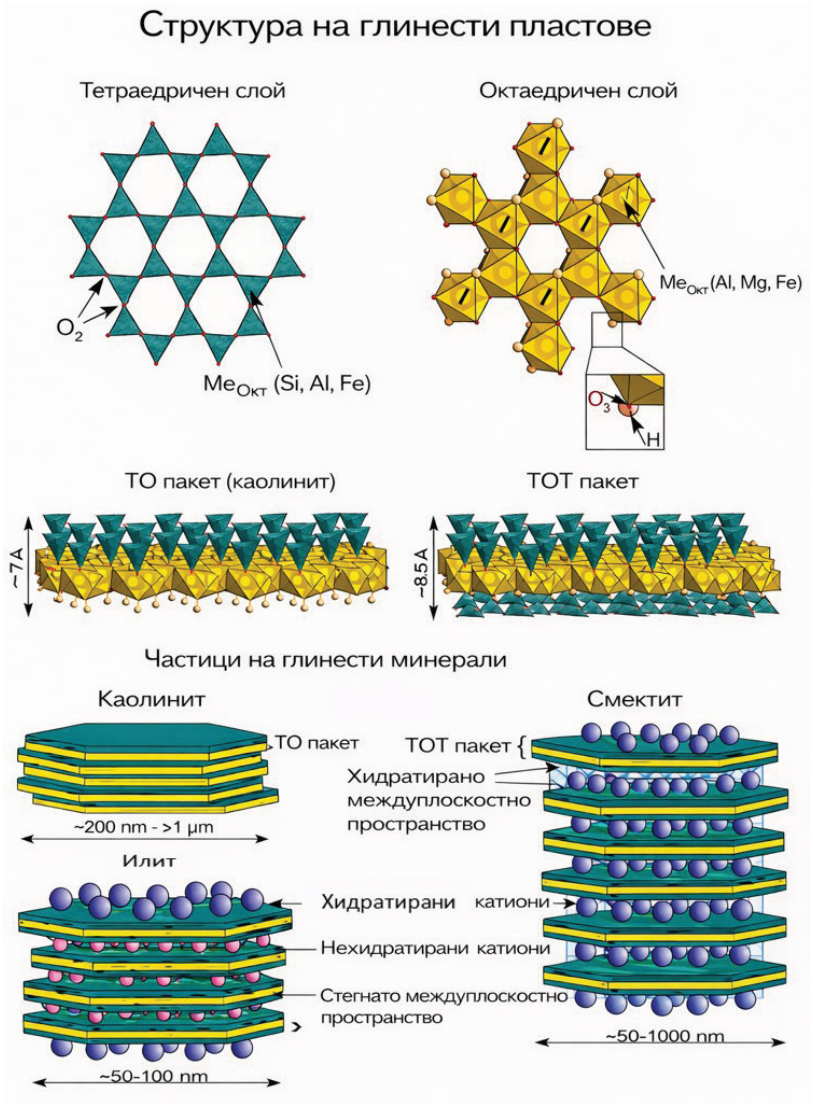


Скици, представящи: а) Силиций-кислороден тетраедър; б) Алуминий-кислороден октаедър © Darshani Kumaragamage, Univ. of Winnipeg is licensed under a CC BY (Attribution) license. (Warren, J. & Spiers, G., 2021)

базовите за литосферата силиций и алуминий, обградени съответно от 4 и 6 кислородни/хидроксилни аниона, формиращи най-разпространените градивни почвени единици силиций-кислородните тетраедри, свързани в **тетраедрични слоеве** (Т) и ауминиевите октаедри, свързани в **октаедрични слоеве** (О), се окомплектоват в безкрайни отрицателно заредени слоести ***пакети*** ТОТ (смектити) и по-рядко ТО (каолинит), образувайки вторичните глинести минерали на почвата. Именно тези отрицателно заредени пакети ***калцият свързва*** като „мост" със своите две положителни валенции и не позволява отмиването им. Той играе ролята на своеобразен мост и за образуването на най-ценните собствено почвени структури – *органо-минералните*. При тях в междупакетните пространства на тези нови глинести структури навлизат и чрез калция здраво се свързват силно отрицателните хумусни киселини, микробни полизахариди, аминокиселини, карбоксилни киселини и др. и така също не се отмиват, а остават в почвата, където могат да изпълняват основната си функция – да задържат с множеството си заредени функционални групи хранителните елементи в достъпна за растенията форма.

Когато калцият не е в достатъчно количество, поради липсата му в почвообразуващите скали или вследствие на външни влияния – главно от микроорганизмовия свят, натрупващият се през вековете изветрителен (променен) жив органо-минерален субстрат, който познаваме под името почва, върви по друг еволюционен път, който има свои закони и следствия.

Калцият в природните геохимични системи неизменно е във вид на двувалентен положително заредени катион Ca^{2+}, който поради своята масовост е главният буфериращ/неутрализиращ агент на почвената киселинност и когато тя е естествено завишена калцият постепенно се изконсумирва от системата за целите на неутрализацията. Вкисляването на почвите може да се случи по различни механизми, като в глобален план най-масово е естественото



Градивни структурни елементи на глинестите минерали. Горе – Тетраедричен и октаедричен слой; В средата – Глинести пакети, изградени от тези слоеве; Долу – Глинести частици, изградени от свързани глинести пакети (Nicola et al., 2021)

влияние на дървесната растителност, чиито продукти от жизнената дейност посредством гъбична микрофлора се разграждат преимуществено до т.нар. фулвокиселини – по-агресивните, нискомолекулни, водоразтворими фракции на хумуса. На този факт може да се погледне и от друг ъгъл – ежегодно дърветата консумират вещества, за да градят своите биогеохимични структу-

ри, но само малка част от тях във вид на есенен опад от листа, кора, плодове и клони се връща обратно в почвата. При иглолистните този процес е още по-задълбочен, което води като последствие до необратимо обедняване на почвата на хранителни елементи, повечето от които положително заредени катиони. Така се достига до логичния факт, че тревните съобщества, при умерени климатични условия са тези, които генерират почви с високо плодородие, тъй като в края на вегетационния си цикъл през есента те „връщат" в почвата почти всичко, което са извлекли от нея, включително отмрелите коренови издънки, които остават и допълнително овъздушават и структурират почвата. Друго, не по-маловажно следствие от тревистата растителност е наличието на постоянна свежа органична маса при степните и низинните ливадни почви, която захранва бактериалния почвен микробиом, който от своя страна създава по-неутрална почвена среда, в която калцият се запазва и може да изпълнява незаменимите си функции.

Ето така кръговратът на живота, задвижван от потенциал между крайни противоположности, незабележимо се върти около нас и чрез нас – крехък, но изумително устойчив от незапомнени времена. ■

Изисквания към авторите на сп. „Природа"

Сп. „Природа" е научнопопулярно списание, предназначено за широка читателска аудитория: специалисти от различни научни области, преподаватели във висши и общообразователни учебни заведения, студенти, ученици, любознателни читатели с разностранни интереси.

Характерът на списанието налага някои специфични изисквания към авторите: разглеждане на актуален и важен за науката проблем; достъпно изложение; понятен за широката публика език; избягване на чуждици в случаите, когато могат да се употребят съответните български думи; онагледяване на текста с илюстрации, таблици, фигури.

Обемът на статиите е до 10 хил знака. Към статиите се прилагат кратки биографични данни за автора и негова снимка.

Кратките научни съобщения и любопитни факти се поместват в отделни рубрики, поради което е необходимо да се посочи научната област, към която се отнася съобщението.

Илюстрациите трябва да са годни за непосредствено полиграфическо възпроизвеждане.

За осъществяване на контакт с авторите е необходимо те да посочат на края на статията или съобщението трите си имена, телефон и имейл.

Ръкописите се представят на електронен носител или се изпращат по имейла.

Текстът трябва да е във формат .doc/.rtf или .docx

Не се приемат за издаване или отпечатване произведения, в които илюстративният материал е вмъкнат в .doc/.docx/.rtf файл.

Снимките се предоставят на отделни файлове във формати .jpeg и .tif.