الدورات الحيوية الأرضية الكيميائية Biogeochemical Cyclees

يتبع النظام البيئي دورات تدويريه ، كالدورة الكيماوية الحيوية، إذ تأخذ الكائنات الحية موادها الغذائية لتعيش وتنمو ثم تعيدها للبيئة بعد موتها وتحللها.

تحوي قشرة الأرض كافة عناصر الجدول الدوري الطبيعية، غير المصنعة في المختبرات وتتفاوت نسبة وجود هذه العناصر في الطبيعة، فمنها الشائع، ومنها النادر. والعناصر التالية هي الأكثر شيوعاً، وتشكل أكثر من ٩٩ % من مكونات صخور قشرة الأرض(الأوكسجين، السيليكون، الألمنيوم ، الحديد ، المغنيسيوم ، الكالسيوم ، الصوديوم ، البوتاسيوم) .غير ان العناصر الرئيسة في النظام البيئي الحيوي هي(الأوكسجين ، الكاربون ، النيتروجين ، الفوسفور ، الكبريت) وتدخل هذه العناصر في تكوين المادة الحية (الكتلة الحية) في الكائنات على شكل مركبات كيميائية مختلة، مثل (الكاربوهيدرات والبروتينات والدهون والفيتامينات) وغيرها.

تنتقل هذه المواد الكيميائية من العالم الحيوي الى العالم الجيولوجي، وبالعكس، لذا فان العلماء يسمون انتقالها هذا بالدورات الحيوية الأرضية الكيميائية (الدورات البيوجيوكيميائية) Biogeochemical Cyclees .

لكل مركب او عنصر كيميائي دورته الخاصة به ، كما ان هنالك أشياء مشتركة بين جميع الدورات ففي كل دورة هنالك أجزاء منها تسمى مستودعات Reservoirs إذ يتم احتجاز العناصر فيها لفترة طويلة من الزمن، وبالمقابل هنالك أيضاً خزانات Pools تحجز فيها العناصر لفترة قصيرة من الزمن ، والفترة الزمنية التي يستغرقها المركب او العنصر في المستودعات او الخزانات تسمى فترة المكوث Residence Time فالمحيطات على سبيل المثال مستودعات للماء ، بينما تمثل الغيوم خزانات. كذلك بالنسبة للمجتمعات الحيوية، فان الأنواع الحية فيها تمثل خزانات ، ومعظم الطاقة اللازمة لانتقال المركبات او العناصر من مستودع او خزان لآخر تزودها الشمس أو تأتي من باطن الأرض.

سنركز هنا على دراسة دورات الماء والكاربون والنيتروجين والفسفور والكبريت لأهميتها في التعرف على حالة النظام البيئي من حيث غناه او فقره بهذا العنصر او ذاك، ويمكن من خلالها رصد مستويات التلوث او المستويات غير المرغوب بها في النظام البيئي.

دورة الماء

يعد الماء عنصر هام للحياة على سطح الأرض ، لان النبات والحيوان والإنسان يعتمدون عليه اعتمادا كبيرا لاستمرار الحياة. والماء أما أن يكون على صورة بخار في الهواء أو ماء سائل في الأنهار والبحيرات والبحار والمحيطات أو متجمد على هيئة جليد في القطبين.

تقدر كمية الماء الموجودة في المحيطات بحوالي ٩٧% من كمية الماء على سطح الأرض ويتبخر منها حوالي ٨٧٥ كم٣ يوميا ويعود ٧٧٥ كم٣ على هيئة أمطار أما الباقي

فيبقى على صورة بخار متطاير في الهواء ، فضلاً عن ان ١٦٠ كم٣ من الماء تتبخر يوميا من اليابسة نفسها والتي تستقبل كم٣ على هيئة أمطار. وتتوزع هذه الكمية على اليابسة والأنهار والبحار والمحيطات، وتكون المياه الجوفية.

تستهلك النباتات والحيوانات والإنسان الماء الذي ما يلبث أن يعود أما على هيئة بخار كما هو الحال في عملية النتح والعرق والزفير وأبخرة المصانع أو سائل كما في المياه العادمة المنزلية والصناعية ، وتعتمد كل هذه العمليات اعتماداً مباشراً على عناصر الطقس المختلفة من حرارة وضغط جوي ورياح وعمليات جريان الماء وتسربها الى التربة، أو وصولها الى الأنهار والبحار. وتجدر الإشارة هنا الى أن المياه العذبة لا تزيد نسبتها على سطح الأرض عن ٣% فقط من مجمل كمية الماء الموجودة وأن ٩٨% من هذه المياه العذبة موجودة على صورة جليد في القطبين. وبعبارة بسيطة يمكن وصف دورة المياه بالمعادلة التالية:

تبخر + نتح = تكاثف

تمثل دورة المياه في الطبيعة نظاماً هائلاً تحركه الطاقة الشمسية ، ويعمل فيه الغلاف الجوي جسراً بين المحيطات والقارات، فماء المحيطات بصورة رئيسة وماء القارات بصورة فرعية، يتبخران باستمرار في الغلاف الجوي وتعمل الرياح على نقل الهواء الحامل لبخار الماء الى مسافات بعيدة والى ارتفاعات شاهقة، إذ تبدأ عمليات معقدة في تكوين الغيوم ، وحدوث التساقط. والماء الساقط على سطح المحيط ينهي بذلك دورته، أما الماء الساقط على اليابسة فأمامه رحلة طويلة الى المحيط.

دورة الكربون

يعد الكاربون عنصر الحياة فهو اللبنة الأساس في بناء المركبات العضوية التي تبنى منها الخلايا وبالتالي الكائنات الحية ومن ثم فهو عنصر رئيسي في تركيب الكائنات الحية، ولكنه ثانوي في تركيب قشرة الأرض الصخرية ، إذ يبلغ تركيزه ٠.٠٣٢%، وترتيبه الرابع عشر.

يعد بعض الباحثين دورة الكاربون دورة للأوكسجين والهيدروجين والكاربون بسبب ارتباط العناصر جميعها في دورة واحدة ، غير ان الأوكسجين يكاد يكون كوجوداً في دورات جميع العناصر الأخرى.

تبدأ دورة الكاربون في الطبيعة بعملية التمثيل الضوئي Photosynthesis فهي التي تحرك الكاربون في الطبيعة، ولو توقفت لتوقف وجود هذا العنصر في الإشكال الأخرى الحاملة له. وفي هذه العملية يأخذ النبات غاز ثاني أوكسيد الكاربون من الجو، والضوء من أشعة الشمس، والماء من التربة، ليصنع منها الكاربوهيدرات في مجموعة من المعادلات.

يسير هذا الغاز بدوره مغلقة يستهلك في خلالها من قبل عدد من الكائنات ، وفي بعض التفاعلات، ثم ما يلبث أن يعود الى الغلاف الجوي . المعروف أنه يذوب في مياه البحار والمحيطات وقد يعود من هذه المياه الى الجو. وهو يخرج من غازات البراكين، ومن حرق الغابات الاستوائية فاحتراق الوقود والغابات، وعملية التنفس عند الإنسان من شهيق وزفير، وحرق البترول والفحم، وتحلل المواد العضوية كلها تطلق غاز ثاني أكسيد الكربون الذي ما يلبث أن يعود من خلال الأمطار الحامضية أو بامتصاصه من قبل المسطحات المائية إذ يتحد مع بخار الماء فيكون دقائق الجير التي تترسب في أعماق البحار والمحيطات ، كذلك فإن نسبة كبيرة من الكربون تتحول الى مواد مختزنة كالفحم والبترول الذي يبقى مختزن في جوف الأرض، ثم ما يلبث أن يعود للاستخدام بعد أن يستخرجه الإنسان، فضلاً عن كمية الكربون التي تختزن على صورة أحجار كلسيه.

يشكل غاز ثاني أكسيد الكربون حوالي ٠.٠٣% من الغلاف الجوي، وبزيادة كميته عن هذه النسبة تحدث المشاكل البيئية والصحية.

دورة النيتروجين

تحتاج جميع الكائنات الحية الى عنصر النتروجين، الذي يدخل في تراكيب الأحماض الأمينية، والبروتينات، والمادة الوراثية (DNA) Deoxyribonucleic Acid.ومع ان غاز النيتروجين N_2 يشكل ٧٨ % من الغلاف الجوي، إلا ان المنتجات والكائنات الأخرى في النظم البيئية الطبيعية لا تستطيع إستخلاصه مباشرة من الغلاف الجوي والاستفادة منه ، غير أن بوسعها القيام بذلك إذا تحول عنصر النيتروجين من الحالة الغازية الخاملة الى اَيونات الأمونيوم NH_4 أو النترات NO_3 وتسمى هذه العملية تثبيت النتروجين Nitrogem Fixation التي يمكن ان تتم بطرق: التثبيت الحيوي، والتثبيت الجوي، والتثبيت الاصطناعي. وبعد عملية التثبيت تتمكن النباتات من الاستفادة منه واستعماله في بناء جزيئات البروتين النباتي.

يمكن لهذه التحولات أن تكون ناتجة عن البرق أو النشاطات البركانية أو عن البكتيريا الموجودة في التربة والتي تقوم بتحويل النيتروجين الى نترات ومن ثم تتحول الى أحماض أمينية وبروتينات هذا وتعد فضلات الكائنات الحية وتحللها مصدرا مهما للنيتروجين، إذ تقوم البكتيريا بتحويلها الى نتريت NO_2 ثم الى نترات NO_3 ، وبعد ذلك إما يتم امتصاصها عن طريق الجذور أو تتحول الى غاز النيتروجين N2 الذي يعود الى الجو.

دورة الفوسفور

تختلف دورة الفوسفور عن دورات العناصر المارة في كون الغلاف الجوي لا يشكل أحد خزاناته. إذ إنه يوجد في القشرة الأرضية كعنصر على شكل فوسفات، إذ تتحد ٤ ذرات من

الأوكسجين مع ذرة واحدة من الفوسفور مشكلة اَيون الفوسفات، الذي يتحد بدوره مع اَيون موجب، كأيون الكالسيوم، مكوناً معدن الأنتيت (فوسفات الكالسيوم) والموجود في كثير من صخور القشرة الأرضية النارية منها والرسوبية ، وعندما تتجوى الصخور الحاوية على الفوسفات ينتقل اَيون الفوسفات الى الماء ومن ثم الى النباتات (المنتجات) عبر التربة ، وبعد ذلك الى الكائنات الحية (المستهلكات) ، إذ يصبح مكوناً رئيسياً من مكونات أغشية الخلايا و DNA و RNA و ATP ثلاثي وفوسفات الآدينوسين ، ومع موت النباتات والحيوانات تعود الفوسفات الى الماء والتربة.

يدخل الفوسفور في تركيب العظام والأسنان وفي تركيب الأسمدة ، وبهذه الطريقة، فضلاً عن تحلل النباتات والحيوانات الميتة يتم إيصاله للتربة ومن ثم الى النباتات . ويوجد الفسفور بكمية كبيرة في فضلات الإنسان والحيوانات ، التي تستخدم فيما بعد كسماد للمزروعات.

أصبح الفسفور يدخل في تركيب مساحيق الغسيل مما أدى الى ارتفاع نسبته في المياه العادمة، وبالتالي الى حدوث تلوث في الأنهار والبحار والمياه الجوفية، مما دفع العلماء الى البحث عن طرق لإزالة مركبات الفسفور من المياه العادمة.

تلعب العوامل الجوية كالأمطار والرياح دورا مهما في إيصاله للأنهار والبحار، إذ تمتصه النباتات البحرية ومن ثم يصل الى الطيور التي تعتاش على هذه النباتات. وتترسب الكميات التي تصل الى البحار والمحيطات في قيعانها لتشكل مصدراً مختزناً من مصادر الفسفور.

دورة الكبريت

يدخل الكبريت في تركيب المواد العضوية الحيوانية والنباتية ، لذا يعد من العناصر الأساسية اللازمة لحياة الكائنات الحية. وتبدأ دورته بخروجه من بعض أنواع الصخور التي تحتويه، مثل صخور الجبس، التي تتكون من معدن الجبس $CaSO_4$ وخام الكبريت الحر Native Sulfar خلال عملية التجوية الكيميائية .

ينتقل الكبريت على شكل كبريتات ذائبة SO_4 مع المياه السطحية أو الجوفية الجارية، إذ يصل الجزء الأكبر منه لمياه البحار والمحيطات وجزء أقل يصل الى التربة وينتهي المطاف بالكبريتات الذائبة في البحار والمحيطات الى ترسيبها على شكل رسوبيات تتحول مع الزمن الطويل الى صخور، مثل صخور الجبس والآنهيدريت. وبذلك تغلق دورة الكبريت على هذا الوجه.

أما الكبريت الذي يصل الى التربة فيمكن للنباتات أن تمتصه على شكل كبريتات ذائبة، إذ يدخل الكبريت في تركيب موادها العضوية وخاصة البروتينات النباتية.

يمكن ان ينتقل هذا الكبريت الى المستهلكات برتبها المختلفة خلال السلسلة الغذائية وبعد موت المستهلكات والنباتات تقوم المحللات بتحليل المواد العضوية المحتوية على الكبريت إما هوائياً أو لا هوائياً وتكون النتيجة في كلتا الحالتين عودة الكبريت الى التربة لتعود فتمتصه نباتات أخرى أو ينتقل خلال غسيل التربة بواسطة مياه الأمطار المترشحة خلالها الى المياه السطحية الجارية او المياه الجوية وهذه بدورها تصل في النهاية الى البحار والمحيطات لتترسب بعد ذلك وتكون الرسوبيات ، ومن ثم الصخور الرسوبية المحتوية على الكبريت خلال الزمن الجيولوجي الطويل.

تمتاز دورة الكبريت عن دورة الفوسفور بتكون طور غازي للكبريت لا تجد مثله في دورة الفوسفور إذ يمكن ان يصل الكبريت الى الغلاف الجوي على شكل عدة أنواع من الغازات، ومنها: ثاني أوكسيد الكبريت SO_2 وكبريتيد الهيدروجين H_2S وينتج غاز ثاني أوكسيد الكبريت بشكل رئيسي من حرق الوقود الأحفوري المحتوي أصلاً على الكبريت بإحدى أشكاله، مثل معدن البايريت FeS_2 او المواد العضوية المحتوية على الكبريت والموجودة في الفحم الحجري ، وعادة يتفاعل الغاز المذكور مع الماء ليكون حامض الكبريتيك H_2SO_4 الذي يسهم في تكوين الامطار الحامضية Acid Rain والذي يسقط على سطح الأرض ويسبب العديد من المشاكل البيئية. ينتج غاز ثاني أوكسيد الكبريت من أكسدة الكبريت من مركباته بفعل بكتريا الكبريت Thiobacillus ذاتية التغذية الكيميائية. أما مصدر غاز كبريتيد الهيدروجين الذي يصل الى الغلاف الجوي فهو التحلل اللاهوائي للمركبات العضوية المحتوية على الكبريت.

غاز كبريتيد الهيدروجين أحد ملوثات الجو وهو غاز سام وله رائحة كريهة تشبه رائحة البض الفاسد، قد يصل غاز ثاني أوكسيد الكبريت وكبريتيد الهيدروجين الى الغلاف الجوي تارة بصورة طبيعية عن طريق البراكين مثلاً او عن طريق النشاطات البشرية كالصناعة او من وسائط النقل او من حرق النفايات وغيرها .