الدورات الكيمياوية الأرضية الحياتية Biogeochemical Cycles

بالإمكان تفهم العديد من مبادئ النظم البيئية من خلال تتبع دورة العناصر الرئيسية مثل الكربون والأوكسجين والهيدروجين والنتروجين والفسفور والكبريت بين المكونات الحية وغير الحية للنظام البيئي.

وبالرغم من ان ما يتواجد في داخل جسم الكائن الحي من العناصر قد تجاوز الأربعين عنصراً الا ان اعتماد الحياة على الطاقة يتزامن مع احتياجاتها لما هو متوافر من حوالي عشرين عنصراً ضرورياً لديناميكية الفعاليات الحيوية للكائن الحي . كما ان خمسة عناصر منها وهي الكربون والأوكسجين والهيدروجين والنتروجين والفسفور تمثل أكثر من (٩٧%) من تركيب البروتوبلازم في معظم أنواع الكائنات الحية.

ان انتقال هذه العناصر من الحالة اللاعضوية إلى الحالة العضوية ومن ثم رجوعها إلى الحالة اللاعضوية قد تسبب الاختلاف والتباين بين عدد الكائنات الحية وأنواعها من منطقة إلى أخرى حسب سرعة التحول (سرعة الانتقال) هذه العناصر من حالة إلى حالة أخرى، وكذلك باختلاف كميتها والتي ترتبط وتتغاير باختلاف عوامل محيطية وحياتية عديدة.

ان هذه العناصر والمواد يجري تدويرها في النظام البيئي بصورة مستمرة، لذا فإن جميع المواد أو العناصر الموجودة في أجسام الأحياء كالماء والكربون والنتروجين والأوكسجين وغيرها من العناصر والتي تكون موجودة اساساً في قشرة الأرض أو في الصخور أو في المحيط الجوي يجري تدويرها جميعاً في النظام البيئي بصورة مستمرة، وتمر هذه العناصر والمواد في مسارات متعددة تشمل الكائنات الحية والمياه والهواء والتربة والصخور.

ان متابعة هذا المسار أي مسار انتقال أي عنصر من الحالة اللاعضوية إلى الحالة العضوية ورجوعه إلى الحالة اللاعضوية في الطبيعة تسهّل إدراك العلاقات المتواجدة بين الكائنات الحية والمحيط الذي تتواجد فيه.

تكون بعض الدورات مقتصرة على مواقع محددة اساساً وتسمى الدورات الموقعية Local cycles والأخرى الدورات المحيطية (الشاملة) Global cycles.

تشتمل الدورات الموقعية على العناصر ذات الحركة المحدودة أي العناصر التي لا تمتلك ميكانيكية الانتقال إلى مسافات بعيدة.

في حين ان الدورات المحيطية الشاملة تشتمل على مركبات غازية تتعلق أو تتوثق مع جميع الكائنات الحية على الكرة الأرضية. بمعنى انها تشمل المحيط الحيوي كله.

وهناك ثلاثة أنواع من الدورات يمكن ملاحظتها في النظام البيئي هي:

١. الدورة المائية Hydrologic cycle: التي تمتاز بدوران مركب الماء في الطبيعة.
٢. الدورة الغازية Gaseous cycle: التي يتم فيها تدوير الغازات وتساهم فيها الكائنات الحية ومحيطها.
٣. الدورة الرسوبية Sedimentary cycle: التي يتم فيها تدوير العناصر الكيمياوية وتساهم فيها الكائنات الحية ومحيطها.

ان تحليل دورات العناصر ضمن النظام البيئي هو الوسيلة الصحيحة لفهم النظام البيئي. وقد تقسم الدورات الكيمياوية الأرضية الحياتية اعتماداً على مصدر هذه العناصر إلى نوعين رئيسيين هما:

١. **الدورات الغازية:** حيث يكون الغلاف الجوي هو المصدر والمستودع الأساسي لها.
٢. **الدورات الرسوبية:** حيث يكون سطح الكرة الأرضية هو المستودع الأساسي لها (الصخور والتربة).

وقد تقسم هذه الدورات إلى:

١. **دورات كاملة.**
٢. **دورات غير كاملة.**

أنواع الدورات:

أولاً: دورة الماء: Hydrologic cycle

يعد الماء اساساً لكل الكائنات الحية ويشكل الماء الجزء الأكبر من أجسام وأنسجة معظم الأحياء. ويؤدي الماء دوراً مهماً ليس فقط بالنسبة لنشوء الأنواع في الأحقاب الجيولوجية الغابرة وفي استمرار الحياة في الكرة الأرضية في الوقت الحاضر بل كذلك على المستوى الخلوي والمستوى الجزيئي . ويكون الماء حوالي (٦٠-٩٠%) من الوزن الطري لمعظم الأحياء بصورة عامة.

تصل نسبة الماء في جسم الإنسان بحدود (٦٠-٧٠٥). وتقدر كمية الماء التي تفقد من جسم الإنسان بحدود (٢٥٠٠سم^{3}) يومياً خلال العمليات الابرازية المختلفة وعملية التنفس. عند ملاحظة انتشار المياه في الكرة الأرضية فإن أكثر من (٧٠%) من سطح الكرة الأرضية تغطيها المياه التي تشكل المحيطات والبحار بصورة رئيسية.

تعتبر المحيطات المصدر الأساسي لدورة المياه في الطبيعة . حيث تتبخر المياه نتيجة للطاقة الحرارية الشمسية من سطوح المحيطات وبقية المسطحات المائية كالبحار والبحيرات والأنهار فضلاً عن التبخر من أجسام الأحياء حيوانية كانت ام نباتية. ويعود هذا الماء المتبخر إلى الأرض مرة أخرى ساقطاً على المسطحا ت المائية المختلفة وعلى اجسام الكائات الحية (نباتات وحيوانات) وعلى التربة.

تقدر كمية المياه الساقطة على سطح الكرة الأرضية بحدود (٤.٤٦×١٠^{٢٠}) غم سنوياً. منها (٠.٩٩×١٠^{١٠}) غم تسقط على اليابسة والمتبقي وهو (٣.٤٧×١٠^{٢٠}) غم تسقط على المحيطات والمسطحات المائية الأخرى.

ان الماء المتواجد في أي مكان هو الذي يحدد طبيعة أنواع الكائنات الحية التي يمكن ان توجد فيه ومدى وفرة اعدادها.

قال الله سبحانه وتعالى ((وَجَعَلْنَا مِنَ الْمَاء كُلَّ شَيْءٍ حَيٍّ)) .

الدورات الغازية: Gaseous cycles

سنتطرق إلى أهم الغازات ذات العلاقة الوثيقة بحياة الكائنات الحية وبيئتها ودورانها في البيئة وهي:

١. دورة الكاربون: Carbon cycle

يعتبر الكاربون المكون الأساس لكافة لاكائنات الحية فهو يدخل في كل خلية من خلايا الجسم.

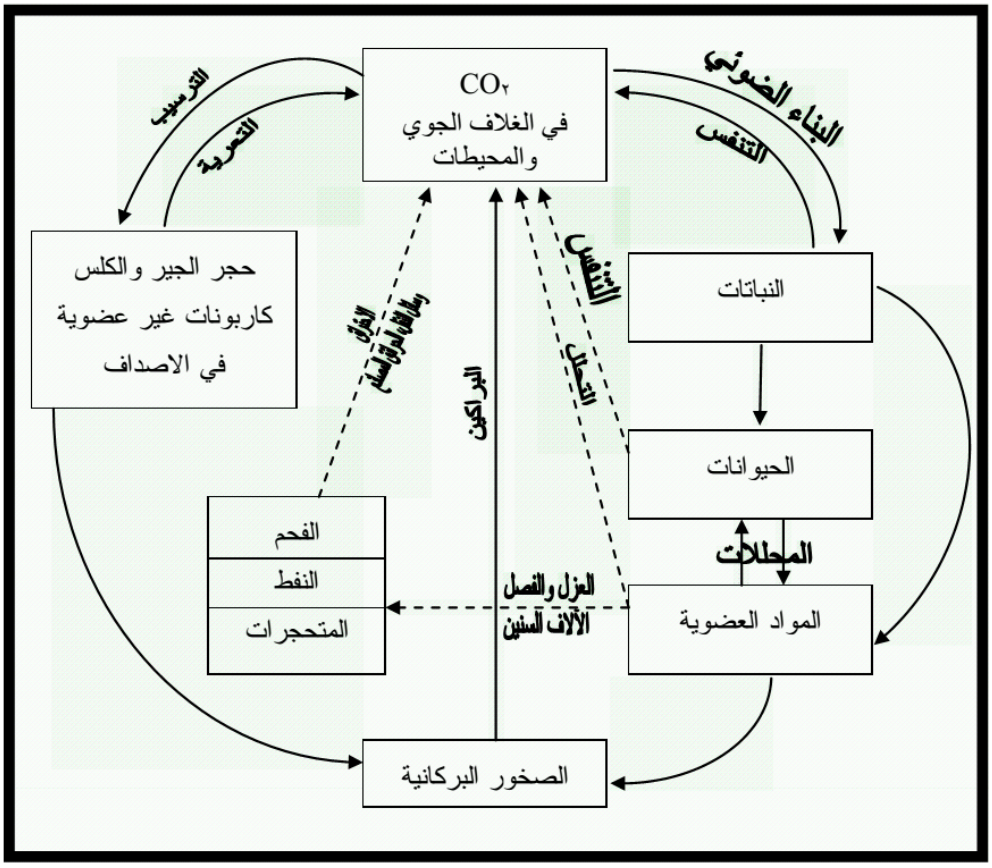
تعد دورة الكاربون من أبسط دورات العناصر بسبب تميز مكوناتها الرئيسية . كما ان هذه الدورة تعد من الدورات الكاملة وذلك لان الكاربون يعود إلى المحيط البيئي بنفس السرعة التي يزول فيها. ويكون المسار الرئيسي للكاربون في هذه الدورة من المحيط الجوي Atmosphere الذي يكون المخزن الأساس له في الكائنات المنتجة وبشكل رئيسي النباتات الخضراء ومن ثم الكائنات المستهلكة ومن هاتين المجموعتين إلى الكائنات المحللة التي تتمثل بالبكتريا والفطريات ومنا تعود إلى المحيط الجوي.

يكون الكاربون مخزون بشكل غاز $CO_٢$ الموجود في الهواء الجوي أو ذائباً في الماء. وبالرغم من قلة كمية غاز $CO_٢$ في الهواء الجوي حيث تبلغ نسبة حوالي (٠.٠٣%) فإنه يلعب دوراً اساسياً ومهماً لسببين هما:

أ. قدرته على امتصاص الحرارة القادمة من الشمس والمنعكسة من سطح الأرض وبالتالي يقوم بتدفئة طبقات الجو السفلية.

ب. يعتبر المصدر الأساس في عملية البناء الضوئي في النباتات Photosynthesis.

خلال عملية البناء الضوئي فإن الكربون اللاعضوي الذي هو على هيئة غاز ثاني اوكسيد الكربون CO_2 يتحول إلى كربون عضوي يثبت في الخلايا النباتية ويعود الكربون مرة أخرى الى الجو على هيئة غاز CO_2 خلال عمليات التنفس للكائنات الحية المختلفة. وبعد موت الكائنات الحية وخلال عمليات التحلل التي تقوم بها البكتريا والفطريات تتحلل فيها المادة العضوية وتتحول إلى غاز CO_2 فضلاً عن الاكسدة بالعوامل اللااحيائية كارتفاع درجة الحرارة.



دورة الكاربون

هناك مصدر آخر لتجهيز غاز الكاربون بواسطة عمليات الاحتراق واحتراق المواد العضوية من قبل الإنسان كالنيران التي تلتهم الغابات ودخان المصانع ووسائط النقل المختلفة إذ تعمل على إحراق المواد البترولية والفحم وانتاج كميات هائلة من غاز الكاربون وإضافتها إلى مخزون الكاربون في الغلاف الغازي. وهذه بالطبع ليست إضافة طبيعية ثابتة ولكنها تزداد بازدياد الحركة الصناعية.

ان التغيرات القليلة في تركيز غاز ثاني اوكسيد الكربون الجوي تؤدي دوراً كبيراً في التأثيرات الرئيسية في المناخ. إذ ان زيادة تركيز هذا الغاز يؤدي

إلى زيادة في حرارة البيئة والذي يعرف بتأثير البيت الزجاجي Green house effect الذي يؤدي إلى ظاهرة الاحتباس الحراري، وهذا يؤدي إلى ذوبان الكتل الجليدية القطبية أو الجبال الثلجية مما يسبب ارتفاعاً في منسوب المياه في المحيطات الذي يؤدي إلى كوارث وخسائر كبير في المناطق الساحلية فقد تغطى مساحات كبيرة من جملتها مدن ساحلية بالمياه . كما قد تؤدي إلى الإخلال بمستوى انتشار النباتات واحداث التصحر.

٢. دورة النتروجين: Nitrogen

يعتبر الهواء الجوي المخزن الرئيسي للنتروجين الغازي والذي يكون أكثر العناصر شيوعاً ضمن الغلاف الجوي إذ يكون حوالي (٧٨%) بالحجم من الهواء المحيط بالكرة الأرضية، ولهذا فإن دورته الشاملة توفر بديلاً ثابتاً تقريباً لما يثبت من قبل الأحياء الدقيقة التي توفر كل ما يحتاجها النباتات في حياتها تقريباً.

يعتبر النتروجين من أكثر العناصر الغذائية شيوعاً في التربة، وأكثر العناصر الغذائية نقصاناً في التربة، وأكثر العناصر الغذائية التي يمتصها النبات.

مصادر النتروجين يمكن تقسيمها إلى أربعة مصادر هي:

أ. المعادن الأولية والصخور أو مادة الأصل التي تكونت منها التربة.

ب. عملية تثبيت النتروجين الجوي بواسطة الكائنات الحية الدقيقة.

ج. المادة العضوية الناتجة من تحلل مخلفات النباتات والحيوانات.

د. وهناك عامل آخر وهو المصدر الصناعي أي إضافة الأسمدة الصناعية على الرغم ان دورة النتروجين في السلسلة الغذائية معقدة بعض الشيء ولكنها تبدأ بواسطة بعض أنواع البكتريا والطحالب التي تثبت النتروجين من حالته الغازية إلى صورة أملاح النتريت والنترات، وتسمى هذه الكائنات بالكائنات المثبتة للنتروجين. وهي :

ه. أ. البكتريا غير التعايشية المثبتة للنتروجين

.Asymbiotic nitrogen fixing bacteria

أو تسمى البكتريا حرة المعيشة مثل البكتريا الهوائية أزوتوباكتر Azotobacter والبكتريا اللاهوائية كلوستيريديوم Clostridium.

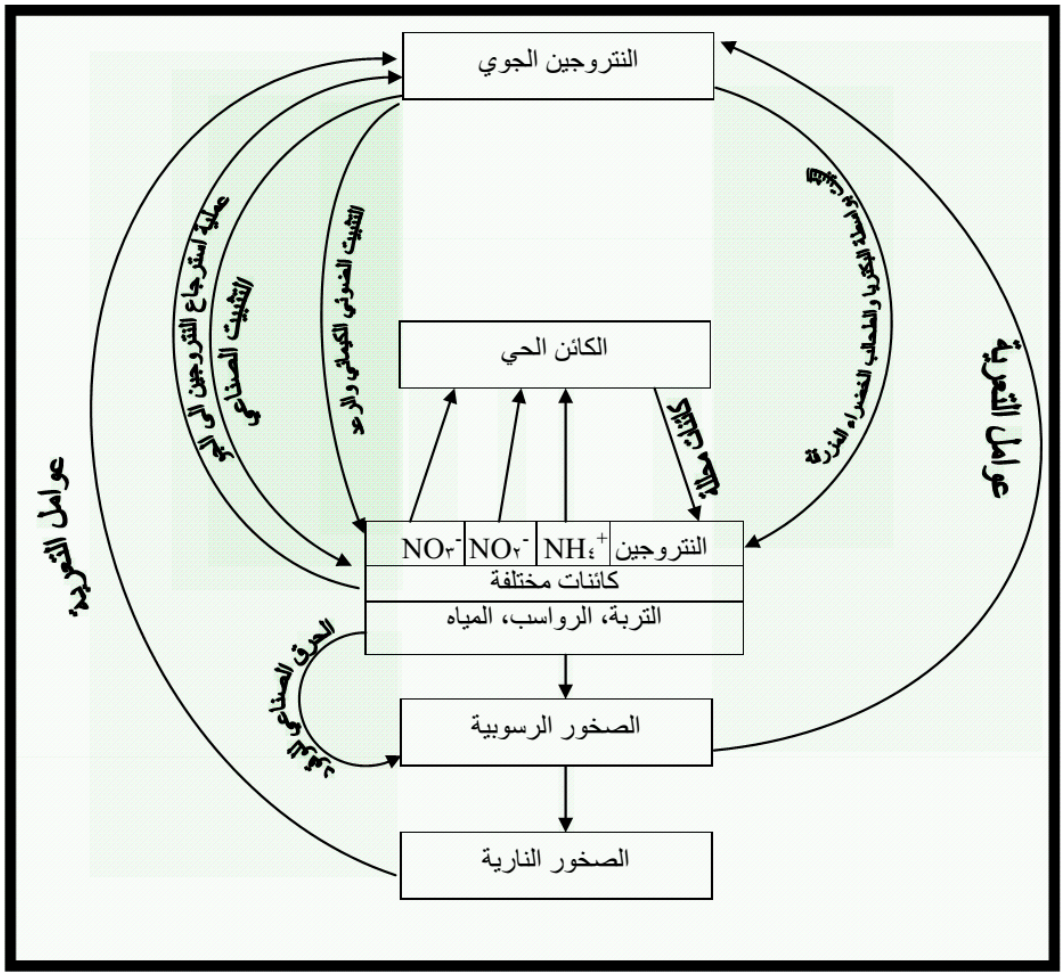
ب. البكتريا التعايشية المثبتة للنتروجين:Symbiotic nitrogen fixing bacteria

المتواجدة في العقد الجذرية لبعض النباتات البقولية كالبرسيم والجت والباقلاء مثل بكتريا لعقد الجذرية رايزوبيوم Rhizobium.

ج. بعض الطحالب الخضراء المزرقة: Blue green algae

تثبت النتروجين مثل الطحالب الانابينا Anabaena في حقول نبات الرز وطحلب الرنوستوك Nostoc

د. ويمكن ان تتم عملية تثبيت النتروجين الجوي بواسطة التأثير المؤين للبرق تسمى Electrification الكهربة، ويصل إلى التربة كأكاسيد للنتروجين.



دورة النتروجين في الطبيعة

ان للبكتريا دوراً واضحاً في عمليات التحلل للمركبات النتروجينية خلال عمليات ثلاثة هي: أ. **النشدرة** Ammonification ، ب. **النترجة** Nitrification ج. **عكس النترجة** Denitrification التي يشارك فيها أكثر من نوع من البكتريا. إذ تساعد بكتريا النشدرة مثل بسودوموناس Psendomonas في تحلل الحوامض الامينية ($-NH_2$ group) وانتاج الامونيا NH_3. وهذه الامونيا بدورها تتأكسد وتتحول إلى نتريت NO_2^- بسرعة بواسطة

بكتريا النتريت مثل نايتروسوموناس Nitrosomonas ومن ثم تتحول إلى النترات NO_3^- بواسطة بكتريا النترات مثل نايتروباكتر Nitobacter

$$R\text{-}NH_2 \xrightarrow[\text{النشدرة}]{\text{Pseudomonas Ammonification}} NH_3 \xrightarrow{\text{Nitrosomonas}} NO_2^- \xrightarrow{\text{Nitrobacter}} NO_3^-$$

حامض اميني — امونيا — نتريت — نترات

النترجة Nitrification

$$\xrightarrow{\text{Denitrification}} N_2O,\ NO_2 \text{ إلى الجو}$$

عكس النترجة

وهناك بعض الأنواع من البكتريا تساعد على ارجاع النتروجين إلى صيغته في الجو أي تعيد النتروجين المثبت من التربة إلى المحيط الجوي بواسطة عملية تسمى عكس النترجة Denitrification وهي عملية اختزال ميكروبي للنترات أو النتريت إلى غازات النتروجين يفقد ويتطاير في الجو . وهذه البكتريا هي الثايوباسيليس Thiobacillus denitrificans وبكتريا مايكروكوكس Micrococcus denifrificans ان وجود هذه الانواع من البكتريا له أهمية كبيرة في المحافظة على الانسياب الدوري للنتروجين من خلال أي نظام بيئي

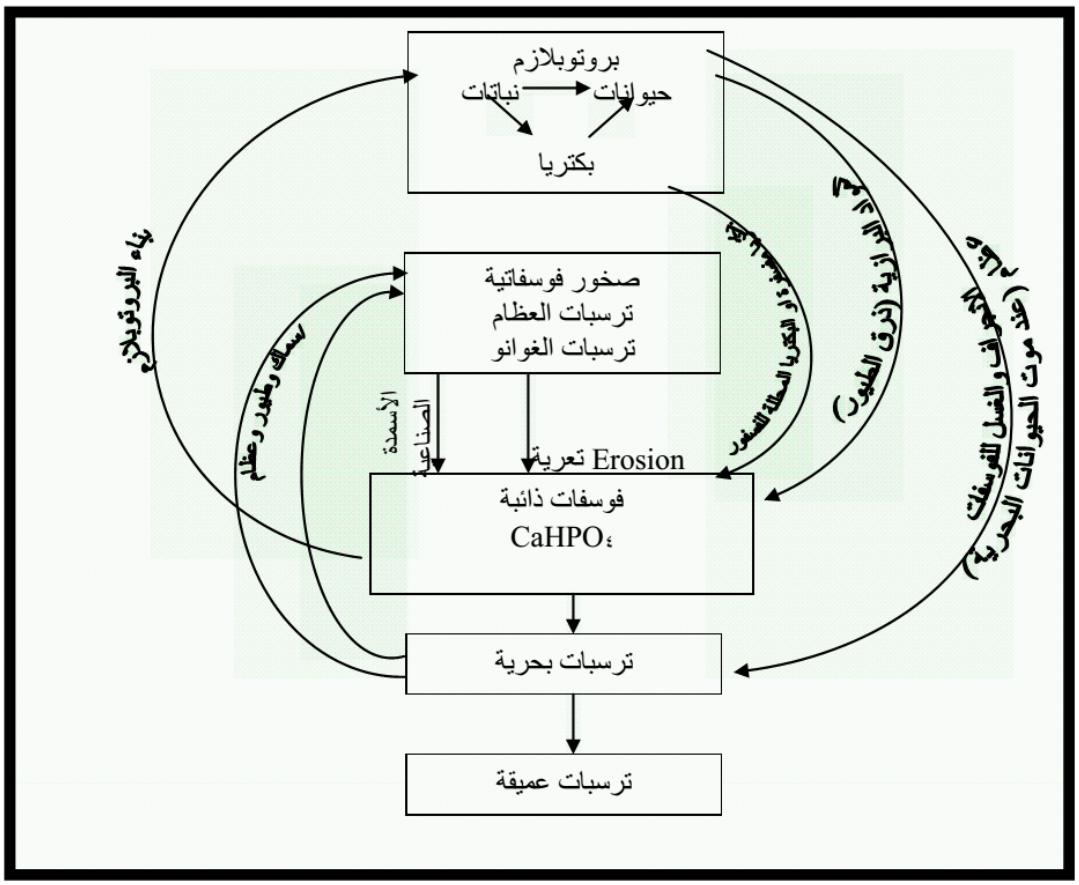
وتعد عملية اخذ النبات للنتروجين في أشكاله اللاعضوية كالنترات مقياساً جيداً للتوازن بين التحلل البروتيني والتأثير البكتيري والإنتاجية الأولية. فعند تواجد النترات في تراكيز عالية في أي مسطح مائي يمكن ان يكون دليلاً على الإثراء الغذائي Eutrophication وهي عملية تشجع نمو الاشنات والنبات في المسطحات المائية نتي جة زيادة المحتوى الغذائي للمياه

ثالثاً: الدورات الرسوبية: Sedimentary cycles

دورة الفسفور: Phosphorus

الفسفور من العناصر الأساسية الضرورية للحياة فهو يدخل في تركيبة الخلية لجميع الاحياء، ويؤدي دوراً رئيسياً في خطوات متعددة في العمليات الايضية فهو من العناصر الأساسية في بنية جزيئة الـــ DNA والـــ RNA . ومن العناصر الأساسية في مركبات الطاقة ATP ثلاثي فوسفات الادينوسين. فضلاً عن اشتراكه في تركيب الليبيدات المفسفرة التي تدخل في تركيب العضيوات والأغشية الخلوية. اما الفسفور اللاعضوي فيكون على هيئة ايونات الفسفور $PO_4^{\equiv}$ و $HPO_4^{=}$ و H_2PO_4 والتي تمتصها النباتات وتثبت في الخلايا خلال

العَمليات الايضيَة. أما الخزين الأساسي للفسفور في الطبيعة فهو الصخور الفوسفاتية (معدن الابتايت Apatite) وبقايا ذرق الطيور (الغوانو) وفضلات الأسماك والعظام والترسبات في الحيوانات المتحجرة. ويتدفق الفسفور من هذه العناصر خلال عمليات التآكل والتعرية Erosion والانجراف فضلاً عن عمليات التنقيب واستخدامات الاسمدة المختلفة. ان الدورة الكيمياوية الأرضية الحياتية للفسفور يمكن ان تتوضع كما في الشكل الأتي:



دورة الفسفور في الطبيعة