

ОСОБЛИВОСТІ КОНКРЕЦІЄУТВОРЕННЯ В ҐРУНТАХ ПЕРЕДКАРПАТТЯ*Чернівецький національний університет ім. Ю. Федьковича*

Досліджено механізми формування залізо-марганцевих конкрецій у ґрунтах Передкарпаття. Установлено, що конкрецієутворення в цих едафотопах є наслідок метаболізму хемотрофних мікроорганізмів. Вивчено мікроорганізми, які беруть участь в акумуляції заліза та марганцю.

Ключові слова: генезис, конкреція, хемотрофні мікроорганізми, Передкарпаття.

V.A. Nikorych, S.M. Pol'china

*Chernivtsi National University named by Jury Fedkovich***FEATURES OF CONCRETIONS' FORMATION IN THE PRECARPATION SOILS**

Mechanisms of formation of iron – manganous concretions in soils of the Precarpatation are investigated. It is established that formation of concretions in these edaphotops consequence in metabolism of chemotrophic microorganisms. Microorganisms which take part in accumulation of iron and manganese are investigated.

Key words: genesis, concretion, chemotrophic microorganisms, the Precarpatation.

Трансформація марганцю і заліза під дією ґрунтових мікроорганізмів та їх метаболітів відіграє важливу роль у педогенезі, особливо в ґрунтах гумідних районів. Мікрофлора бере участь у мобілізації марганцю із ґрунтоутворюючих порід, в утворенні залізо-марганцевих конкрецій і прошарків, у формуванні органо-мінеральних комплексів гумусових речовин з півтораоксидами, у процесах глееутворення тощо. Часто перетворення і заліза, і марганцю здійснюється одними і тими самими групами мікроорганізмів. Ці елементи зближує здатність існувати у вигляді іонів різної валентності. Залізо і марганець рухливі у відновних умовах та інертні в окисних. Для них характерна міграція у формі колоїдних сполук, велике значення для цих процесів має сорбція. Основними формами міграції є органо-мінеральні комплекси і двовалентні іони, осіданню яких перешкоджають органічні кислоти. Кисла реакція середовища і низький окисно-відновний потенціал сприяє міграції (Хемосинтез, 1989).

Накопичення в профілі гідроксидів заліза і марганцю у вигляді залістистих прошарків або конкрецій, на думку Т.В. Аристовської (1980), має біологічне походження. На користь цього говорить не тільки постійна присутність специфічної мікрофлори в озалізненних горизонтах ґрунтів, але також особливості хімічного складу і мікроморфології ортштейнів. Кількість заліза і марганцю в них значно більша, ніж могла б бути при накопиченні цих елементів лише як непотрібних залишків після мінералізації органічної речовини. Коefіцієнт концентрації заліза в конкреціях коливається від 2 до 9, марганцю – від 22 до 148, а алюмінію і фосфору в новоутвореннях міститься іноді навіть менше, ніж у породі. Найбільший ступінь концентрації марганцю, порівняно з залізом, пояснюється низьким умістом першого в ґрунті і низькою ефективністю реакції його окислення. Це створює умови, коли бактеріям необхідно трансформувати більшу кількість закису марганцю в окис (Roberts, 1997; Водяницький, Зайдельман, 2000).

Визнання біологічної природи ортштейнових новоутворень дає можливість пояснити не тільки механізм їх формування, але й особливості їх хімічного складу: в умовах переважання гетеротрофних організмів в ортштейнах спостерігається підвищений вміст алюмінію, при великій кількості марганцевих бактерій – марганцю, а при домінуванні залізобактерій – заліза.

Залізо та марганець відрізняються за ступенем біогенної акумуляції: марганець концентрується значно сильніше, краще вбирається рослинами (Зонн, 1982).

Таким чином, роль ґрунтових мікроорганізмів у перетворенні заліза і марганцю в ґрунтах гумідних ландшафтів, до яких відноситься і територія Передкарпаття, безсумнівна. Тому всебічне вивчення механізмів конкрецієутворення необхідне для розуміння природи елементарних ґрунтоутворних процесів (ЕГП) та генезису передкарпатських ґрунтів.

ОБ'ЄКТИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Об'єктом наших досліджень були бурувато-підзолисті оглеєні (Вижницький район Чернівецької області), сірі лісові оглеєні та дернові глейові ґрунти (Сторожинецький район Чернівецької області).

Дослідження проводились із середньозмішаними зразками, відібраними по генетичних горизонтах. Аналізувались і власне залізо-марганцеві конкреції.

У лабораторних дослідженнях у ґрунтових зразках визначали загальну біогенність прямим мікроскопуванням; підраховували чисельність хемотрофних мікроорганізмів на середовищах Летена та Кузнєцова – Дубініної (Методи ..., 1991). Для висівів використовували розведення 10^{-2} – 10^{-4} . Культивацийний період тривав від 2–4 діб до 2 місяців у діапазоні температур 24–26 °С. Культуральний опис мікроорганізмів здійснювали шляхом мікробіологічного мікроскопування за методикою Д.Г. Звягінцева (Методи ..., 1991).

Аналіз конкрецій проводили морфометрично, при цьому визначали їх відносний вміст та розміри, а також мікоморфологічно, досліджували внутрішню структуру.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Морфометричні характеристики залізо-марганцевих конкрецій досліджуваних ґрунтів. Термін «конкреція» походить від латинського «*concretio*» (стягнення, зрощення). Клас конкреційних новоутворень поєднує добре оформлені елементи, що легко відокремлюються від дрібнозему будь-якого гранулометричного складу, до того ж незалежно від його вологості. Всі інші новоутворення відносяться до неконкреційних. Нерідко останні є притічними та натічними формами.

Для визначення механізмів конкрецієутворення на першому етапі ми аналізували кількість та геометричні характеристики конкрецій. Для цього відібрані зразки розмивали на ситах з діаметром отворів від 3 до 0,25 мм. При розмиванні ґрунтові частинки руйнувались, а на ситі залишались лише новоутворення відповідного розміру. Така методика запропонована Ф.Р. Зайдельманом та А.С. Никифоровим (2001) і виявилась цілком адекватною для вирішення поставленої задачі. Результати визначень наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Морфометрична характеристика конкрецій досліджуваних ґрунтів

Горизонт	Кількість конкрецій (шт.) різного розміру та їх форма								
	3 мм	п*, %	н**, %	1 мм	п*, %	н**, %	0,25 мм	п*, %	н**, %
Бурувато-підзолистий оглеєний									
Hegl	2	100	0	12	70	30	19	42	58
Ehgl	4	50	50	16	60	40	31	59	41
Eigl	13	70	30	22	65	35	46	70	30
Igl	21	62	38	38	50	50	98	82	18
Pgl	28	75	25	42	71	29	90	80	20
Сірий лісовий оглеєний									
He	–	–	–	1	–	100	3	–	100
EI	–	–	–	–	–	–	2	50	50
Igl	4	50	50	9	11	89	18	38	62
Pgl	12	60	40	21	55	45	36	27	73
Дерновий глейовий									
Hd	–	–	–	–	–	–	1	100	–
H	–	–	–	–	–	–	1	–	100
Hp	1	–	100	3	33	67	4	50	50
Ph/gl	3	–	100	8	50	50	12	30	70
Pgl	5	20	80	14	40	60	18	27	73

п* – відсоток конкрецій правильної (кулястої) форми, н** – відсоток конкрецій неправильної форми.

Аналіз отриманих результатів виявив, що бурувато-підзолистий оглеєний ґрунт Передкарпаття характеризується найвищим вмістом залізо-марганцевих конкрецій. Їх загальна кількість у цих едафотобах була вищою понад як у 10 раз за інші ґрунтові відміни. Це пояснюється генетичними особливостями ґрунтів і, зокрема, інтенсивнішим проявом оглеєння та глеє-елювіального ЕПП. У бурувато-підзолистого ґрунту весь профіль оглеєний, у той час як в інших ґрунтових відмінах – лише нижні горизонти. До того ж, саме в цих ґрунтах вміст заліза вищий.

Характерною особливістю виявилось домінування в бурувато-підзолистому ґрунті конкрецій правильної кулястої форми. Візуальний аналіз умов залягання новоутворень виявив, що саме в цих едафотобах конкреції формувались переважно у внутрішньоагрегатних порах та магістральних тріщинах, у той час як у сірому лісовому і дерновому – у міжагрегатних проміжках, тобто в порах більш крупного розміру. У першому випадку мова може йти про існування в межах агрегату мікроаерованих зон, оскільки профіль переважно перезволожений, а в другому – про кращу аерацію і формування конкрецій безпосередньо у ділянках порового простору, що бере участь у газообміні. Крім того, виявлено, що конкреції неправильної форми в бурувато-підзолистих ґрунтах є монолітні в центрі та досить пухкі по периферії.

Маса новоутворень у бурувато-підзолистому ґрунті складала в середньому 1,2 % (до ваги сухого ґрунту), що в 17 разів вище в порівнянні із сірим лісовим (0,07 %). В останньому домінували дрібні конкреції кутастої форми, бурувато-сірого відтінку, що переходив у чистий бурий колір на зламі. Конкреції бурувато-підзолистого ґрунту – масивніші, поодинокі екземпляри – до 5–7 мм. Вони більш округлої форми, темно-сірого кольору, у розтертому стані темно-коричневі; приблизно 30 % з них має розмір більш 3 мм, інші – від 1 до 3 мм.

Роль мікрофлори у формуванні залізо-марганцевих конкрецій. В основі окиснення та відновлення заліза лежать процеси, обумовлені біохімічною діяльністю мікроорганізмів. Накопичення гідроксиду заліза в ґрунті тісно пов'язане з біохімічною активністю автотрофних або міксотрофних бактерій. Хімічно відновлюватись може лише молекулярно-розчинене залізо, якого в ґрунтах небагато.

У результаті наших досліджень встановлено, що в трансформації сполук заліза та марганцю бере участь досить значна частка мікробіоценозу ґрунтів, незалежно від їх генетичної природи (табл. 2).

Загальна чисельність мікроорганізмів була найвищою для сірого лісового ґрунту. Так, у поверхневому горизонті вона сягала майже 3,5 млн/г колонієутворюючих одиниць. Із збільшенням глибини їх уміст різко зменшувався. Подібна тенденція виявлена і для інших типів ґрунтів. Однак із глибиною зменшувалась чисельність мікрофлори, що використовує енергію при зброджуванні органічних речовин, а вміст мікробів, здатних хемосинтезувати, навпаки – зростає. До хемосинтезуючої мікрофлори відносяться і залізо-марганцеві організми. Характерною особливістю виявилось те, що нижні горизонти бурувато-підзолистого оглеєного ґрунту на 80 % заселялись хемотрофами.

Детальний аналіз якісного складу залізобактерій виявив суттєве домінування у складі хемосинтетиків аеробної мікоплазми *Gallionella ferruginea*. Проте слід зауважити, що саме висока вимогливість до окисних умов стала причиною суттєвого депонування цього виду бактерій переважно у верхніх горизонтах. Даний мікроорганізм цікавий тим, що він дуже швидко окиснює залізо, відкладаючи цей метал у великих кількостях по периферії колоній. *Gallionella ferruginea* активно формує великі залізисті конкреції, які ми спостерігали у морфологічному дослідженні зразків.

Поряд із *Gallionella* бурхливого розвитку зазнав й інший вид хемотрофних бактерій – *Thiobacillus ferrooxidans*. Саме цей мікроорганізм скоріш за все окиснює марганець. Разом із тіобацилами активно трансформують сполуки марганцю й бактерії, що виявлені в бінарній культурі – *Metallogenium*. Характерною особливістю цих організмів є приуроченість до нижніх горизонтів, незалежно від типу ґрунту. Це свідчить про одну з провідних ролей *Metallogenium* та *Gallionella* у процесах оглеєння, оскільки саме материнська порода – найоглеєніший горизонт у всіх едафотобах.

Ще більш переконливим доказом біологічної природи оргштейнів є їх мікроструктура. Мікроскопічне вивчення ґрунтових шліфів показало, що оргштейни – це мікроколонії

залізо-марганцевих бактерій. Аналіз мікроморфологічної будови залізо-марганцевих конкрецій виявив у них радіальну будову. У центрі конкреції знаходились пустоти та фрагменти бактеріальних клітин, деякі з них погано проглядались. Далі залягав шар залізистих прожилок бурого кольору вперемішку з чорнозбарвленими пилоподібними гранулами, які, скоріш за все, і були окисненим марганцем. По периферії цього шару чітко проглядались веретеноподібні клітини *Gallionella* та кокоподібні форми інших бактерій.

Таблиця 2

Характеристика мікробіоценозу, що бере участь у трансформації заліза й марганцю

Горизонт	Загальна кількість мікроорганізмів, млн/г			Співвідношення чисельності хемотрофів до загальної кількості, %
	за Виноградським	у середовищі Летена	у середовищі Кузнєцова – Дубініної	
Бурувато-підзолистий оглеєний				
Ne _{gl}	2,852	0,025	0,101	4
Eh _{gl}	1,231	0,124	0,412	44
Ei _{gl}	1,005	0,254	0,312	56
I _{gl}	0,985	0,341	0,45	80
P _{gl}	0,620	0,280	0,218	80
Сірий лісовий оглеєний				
He	3,450	0,102	0,081	5
EI	2,417	0,094	0,089	8
I _{gl}	1,126	0,147	0,101	22
P _{gl}	0,724	0,269	0,123	54
Дерновий глейовий				
Hd	Не визначено			
H	2,457	0,018	0,041	2
H _p	1,174	0,112	0,098	18
Ph/ _{gl}	0,890	0,158	0,097	29
P _{gl}	0,748	0,216	0,146	48

Для перевірки припущення, що конкреції сформувались внаслідок відкладення по периферії бактеріальної клітини окисненого заліза, ми провели висів суспензії, приготовленої з поверхні новоутворення та безпосередньо з розтертої конкреції на елективне середовище Летена (рис. 1).



Рис. 1. Колонії, що проросли з розтертої конкреції (ліворуч) і з її поверхні (праворуч)

Виявилось, що незалежно від типу ґрунтоутворення поверхні конкрецій були біологічно активними. Натомість, висів розтертої конкреції дав позитивний результат лише одного разу, що свідчить про майже цілковиту абіогенність «ядра» новоутворення, хоча

на мікроморфологічному зрізі ми спостерігали клітини мікроорганізмів у середині конкреції. Сама ж колонія – світло-бурого кольору, і з часом темніла (рис. 2). На ранніх етапах культивування навколо колонії формувалася специфічний темно-бурий ореол діаметром до



Рис. 2. Колонії залізобактерій, висіяні з периферії залізо-марганцевої конкреції: 1 – темно-бурій ореол діаметром до 3 мм; 2 – «висвітлена» зона навколо темно-бурого ореолу; 3 – молода колонія, навколо якої тільки починає з'являтися ледь помітний ореол

3 мм, за яким середовище виглядало навіть світлішим за інші ділянки. Відрізнялись ці зони між собою і за вмістом заліза. Даний факт підтверджує здатність мікроорганізмів селективно концентрувати з навколишнього середовища потрібні їм елементи.

Підсумовуючи результати досліджень, ми дійшли висновку, що мікроорганізми, використовуючи залізо та марганець для своїх енергетичних цілей, відклали сполуки цих елементів по периферії клітини. Однак уже через деякий час ці відкладення капсулювали бактерії і перекривали доступ кисню. Слід вважати, що після цього мікроорганізми гинули. Ще через деякий час нові організми поселялись на цьому новоутворенні та починали активно використовувати «зконцентроване» попередниками відкладення, і так до тих пір, поки був доступ кисню. Як наслідок, сформувались «кільця розвитку та спокою» хемотрофних організмів.

ВИСНОВКИ

1. Установлено, що бурувато-підзолисті оглеєні ґрунти характеризуються найвищим умістом залізо-марганцевих конкрецій, які приурочені до внутрішньоагрегатних та магістральних пустот. Конкрецієутворення в сірих лісових оглеєних та дернових глейових ґрунтах відбувається у міжагрегатних проміжках.

2. Із збільшенням глибини загальна чисельність мікроорганізмів зменшується на тлі зростання відносного вмісту хемотрофних організмів. Окиснення сполук заліза у відновних умовах відбувається лише у мікроаерованих зонах.

3. Утворення залізистих конкрецій у бурувато-підзолистому оглеєному ґрунті Передкарпаття є наслідок метаболізму бактерій видів *Gallionella ferruginea* та *Thiobacillus ferrooxidans* і має циклічний характер.

4. Розробка методики підрахунку часу наростання одного радіального прошарку окисненого заліза дасть змогу оцінити тривалість оглеєння чи інших ЕГП, що пов'язані із трансформацією цього елемента.

Автори висловлюють вдячність доктору біологічних наук, професору Наталії Анатоліївні Білої за допомогу та цінні поради при виготовленні й дешифруванні мікроморфологічних шліфів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- Аристовская Т.В. Микробиология процессов почвообразования. – Ленинград: Наука, 1980. – 187 с.
- Водяницкий Ю.Н., Зайдельман Ф.Р. Железистые и марганцевые минералы в конкрециях дерново-подзолистых почв разной степени оглеения на разных материнских породах // Вестник МГУ. Сер. 17. Почвоведение. – 2000. – № 3. – С. 3-14.
- Зайдельман Ф.Р., Никифорова А.С. Генезис и диагностическое значение новообразований почв лесной и лесостепной зон. – М.: Изд-во МГУ, 2001. – 216 с.
- Зонн С.В. Железо в почвах (генетические и географические аспекты). – М.: Наука, 1982. – 207 с.
- Методы почвенной микробиологии и биохимии: Учеб. пособие / Под ред. Д.Г. Звягинцева. – М.: Изд-во МГУ, 1991. – 304 с.
- Хемосинтез: К 100-летию открытия С.Н. Виноградским. – М.: Наука, 1989. – 256 с.
- Roberts I.L. Refunction of ferric hydroxide by strains of *Bacillus polymyxa* // Soil Science. – 1997. – Vol. 63. – P. 22-29.

Надійшла до редколегії 17.02.03