

Stefan Skiba, Marek Drzewnik, Rafał Szmuc, Ryszard Mazurek

LES CONDITIONS PEDOGENETIQUES D'HUMIFERATION DES SOLS DANS LES REGIONS MONTAGNEUSES LE CAS DES CARPATES (POLOGNE) ET DU MASSIF CENTRAL (FRANCE)

Résumé: Les sols dans les régions de montagne, et cela indépendamment de la localisation géographique, possèdent des caractéristiques communes parmi lesquelles on compte notamment un profil peu profond du sol, la densité du niveau mécanique croissante en fonction de l'altitude ainsi que le ralentissement du processus de décomposition de la matière organique. Cet article présente la comparaison des niveaux humifères qui recouvrent les différents socles géologiques dans les Carpates (Tatras, Bieszczady) et dans les sols du Massif central (Monts Dore). L'ensemble des sols étudiés, indépendamment du socle, se caractérise par des niveaux humifères profonds et par des propriétés spécifiques de l'humus. La matière organique présente dans les sols étudiés démontre le ralentissement des processus d'humification

Mots-clés: Humus, mor, moder, Carpates, Massif central.

1. Introduction

Les chaînes de montagnes occupent environ 15% de la surface de la terre et leurs sols se caractérisent par certains traits spécifiques qui permettent de distinguer les sols des terrains montagneux de ceux des terrains plats. Les propriétés des sols de montagnes et leur emplacement sont étroitement liés au sous-sol géologique, aux processus morphogénétiques, aux conditions climatiques et à la végétation et, parfois, à l'activité économique de l'homme (Skiba 1998).

Dans les manuels de géographie des sols (entre autres Duchafour 1971, Kubiena 1975, Dobrowolskij et Urushevskaja 1984, Bednarek et Prusinkiewicz 1997, Brady et Weil 1999) un accent particulier est mis sur la spécificité de la pédogenèse des sols dans les zones montagneuses et leurs traits communs.

Les rochers massifs du sous-sol, peu affectés d'altération superficielle, ni par une grande dynamique de processus géomorphologiques conditionnent en général le profil peu profond des sols avec une part importante de pierrailles d'éluvion dans la masse du sol. Dans les hautes montagnes, dans les zones de grande intensité des processus morphogénétiques, la carapace du sol se distingue par son caractère ajouré, fragmentaire. Cela signifie que parmi les sols bien formés, on retrouve des formations rocheuses sans sol (affleurements rocheux, murs rocheux) ou des sols originellement rocheux (*Lithosols*)



Fig.1. Zone de recherche

ou encore les éboulis (*Regosols*). Le profil peu profond et la présence d'une part importante de pierrailles dans la masse des sols des formations montagneuses résultent, comme on l'a déjà évoqué, des traits lithologiques du sous-sol et ils reflètent, en grande partie, la dynamique des processus liés à la pente. Au relief de montagne est lié aussi le mouvement latéral des solutions du sol et le niveau instable de la nappe phréatique, ce qui fait que dans de nombreux profils des sols de montagne il n'y a pas de stratification des couches génétiques et que sur les aplatissements de la pente on observe parfois des sols humides (*Gleysols*).

Le trait distinctif de tous les sols de montagne est la présence élevée de matière organique qui est le plus souvent humide et faiblement décomposée (*mor/moder*). Elle forme souvent des couches humifères perméables. Fréquemment, cette matière influe d'une manière prépondérante sur la création des conditions de développement de la végétation de haute montagne et influe également d'une manière significative sur l'orientation du processus de formation des sols.

C'est pourquoi l'objectif de la présente étude est d'essayer de comparer les sols humifères de certaines montagnes des Carpates (Tatras, Bieszczady) et du Massif central (Monts Dore) (Fig. 1).

2. Terrain et methodologie des recherches

Les recherches dont nous faisons état ont été menées dans le Massif central, dans la zone des Monts Dore en 2000. Les profils des sols présentés dans cette étude proviennent de certaines crêtes: Puy Ferrand –1844 m d'altitude (échantillon MC1), Puy de Gros – 1800 m (échantillon MC2), Puy de Paillaret f 1620 m (échantillon MC11) et enfin Vallée de Chaudefour f 1300 m (échantillon MC13). La totalité de ces sols s'est formée sur un socle de roches volcaniques (andésites, dolérites), avec une participation de végétaux non-forestiers parmi lesquels prédomine *Vaccinietum myrtilli* (myrtille). Ces sols se caractérisaient par des propriétés humifères propres aux andosols. Ils ont été classés comme des sols peu profonds et de carcasse dotés d'un niveau organique caractéristique (*Andi-Umbric Leptosols*). La couche humifère (O+A) fait plus de 30 cm et, parfois, comme dans le profil MC1 dans le Puy Ferrand, l'épaisseur du niveau d'accumulation (O) mesurait environ 60 cm (Tab. 1, Fig. 2).

Afin de procéder f une comparaison, on s'est intéressé f des sols humifères similaires provenant de certaines régions choisies des Carpates, c'est-à-dire des montagnes Bieszczady (Carpates orientales) et des Tatras (Carpates centrales). Les sols des Bieszczady se caractérisent par deux profils localisés f Wielka Rawka f 1300 m d'altitude (découvertes B15 et B16). Ces sols, de même que ceux du Massif central, appartiennent f des sols lithogènes superficiels et de carcasse, avec une forte présence des matières organiques (*Lithi-Umbic Leptosols*) mais ils sont formés f partir de l'éluvion des roches de flysh sans carbonate (grès et schistes argileux) avec participation des végétaux non-forestiers (*Vaccinietum myrtilli* et *Calamagrostietum*) (Tab. 2).

Les sols des Tatras se caractérisent par la présence de terres humifères et putréfiées (découvertes T6 et T7) formées aussi bien sur un socle carbonaté (*Rendzi-Umbic Leptosols*) que sur un socle de granitoides (*Lithi-Umbic Leptosols*), sous des ensembles de gazons alpins (*Oreochloa distichae-Juncetum trifidi*) sur une couche sans carbonate (*Festuco versicoloris-Seslerietum tatrae*) et sur une couche de carbonate. Des Tatras proviennent aussi des sols putréfiés: *Umbic Leptosols* et *Rendzi-Umbic Leptosols* ceci indépendamment du socle, sous les broussailles de pins (*Pinetum mughi*) (découvertes T12 et T8).

Les caractéristiques morphologiques et les propriétés les plus importantes des sols étudiés sont présentés dans le tableau 1.

3. Resultats

Les sols étudiés, aussi bien ceux du Massif central que ceux des Carpates possèdent des caractéristiques commune. Ils se caractérisent par un profile superficiel, un taux élevé de fragments d'éluvions rocheux. Il s'agit de sols lithogènes: andosoles dans le Massif central, lithosols et rankers putréfiés dans les Bieszczady, formes putréfiées de ranker et de rendzines dans les Tatras. La réaction de tous ces sols est acide (pH dans l'eau 3,5-5,0) bien que dans les rendzines, la réaction acide n'apparaisse que dans les couches humifères – au niveau minéral A/C, la réaction augmente jusqu'à une valeur de pH de 6,5 f 7,5 (Tab. 1).

Les deux traits caractéristiques de l'ensemble des sols étudiés, indépendamment du sous-sol et de la localisation géographique sont la profondeur des strates d'accumulation et des propriétés similaires de l'humus (Tab. 2, 3).

L'épaisseur des horizons organiques et humifères (O+A) est habituellement d'environ 30 cm et la teneur en matières organiques dans les horizons ecto-humifères (du putréfaction) (O) varie entre 30 et 50%. Dans les horizons endo-humifères (A), la quantité des matières organiques se situe entre 10 et 20%.

Dans la composition des liaisons humifères, dans pratiquement toutes les horizons d'accumulation des sols étudiés, on constate la prédominance des acides humiques par

Tab. 1. La spécificité des sols étudiés

No.	profondeur (cm)	Horizon	% fraction > 2 mm	couleur		pH		C org
				Munsell		H ₂ O	KCl	%
MASSIF CENTRAL - Les Monts-Dore								
Puy Ferrand (1844 m d'altitude); Andi-Umbric Leptosol (<i>Vaccinium myrtilli</i>) - roches volcaniques								
MC1	0-30	Ofh1	-	7,5YR 2/3		4,0	4,0	14,48
	30-50	Ofh2	-	7,5YR 2/2		4,1	3,8	10,12
	50-60	Oh	-			4,4	4,1	8,95
	>60	C(R)						
Puy de Gros (1800 m Altitude); Andi-Lithic Leptosol (<i>Vaccinium myrtilli</i>) - roches volcaniques								
MC2	0-15	Ofh	-	5YR 2/4		4,0	3,4	30,48
	>15	R						
Puy de Paillaret (-1620 m Altitude); Andi-Umbric Leptosol (mountain meadow) - roches volcaniques								
MC11	0-50	Ah	-	7,5YR 2/1		4,7	4,2	16,45
	50-90	A/B	30	7,5YR 4/3		4,9	4,8	
	90-(140)	B/C	50	10YR 5/6		4,7	4,7	
Chaufe-four (1300 m Altitude); Andi-Umbric Leptosol (<i>Luzulo nemorosae-Fagetum</i>) - roches volcaniques								
MC13	0-3	Ol	-					
	3-9	Ofh	-	5YR 2/1		3,5	2,7	16,47
	9-20	Ah	-	7,5YR 2/1		3,4	2,9	1,53
	20-70	B	5	7,5YR 4/3		4,2	4,2	
	70-(120)	B/C	30	7,5YR 5/6		4,4	4,4	
Carpatés - Bieszczady								
Wielka Rawka (1300 m Altitude); Lithi-Umbric Leptosol (<i>Vaccinium myrtilli</i>) - flišch								
B15	0-2	Of	-					
	2-15	Ofh	-	10YR 1,7/1		3,5	3,0	18,09
	15-24	ABbr	20	10YR 3/2		3,9	3,4	4,40
	24-(38)	Bbr/C	70	10YR 4/3		4,0	3,4	
Wielka Rawka (1300 m Altitude); Lithi-Cambic Leptosol (<i>Calamagrostietum</i>) - flišch								
B16	0-2	Of	-			3,9	3,2	22,49
	2-19	Ah	-	10YR 2/2		3,8	3,2	8,93
	19-29	ABbr	10	10YR 3/4		4,3	3,6	2,53
	29-(75)	Bbr/C	60	10YR 4/6		5,0	4,1	
Carpatés - Tatry								
Kopa Kondracka (1900 m Altitude); Lithi-Podzolic Leptosol (<i>Oreochloa distichae-Juncetum trifidi</i>) - granitoides								
T6	0-12	Ah	30	10YR 2/1		3,9	3,3	13,33
	12-20	ABhfe	40	7,5YR 3/2		4,2	3,5	6,14
	20-25	AC	70	10YR 3/1		4,5	4,2	6,26
	>25	R						
Kopa Kondracka (1900 m Altitude); Rendzi-Humic Leptosol (<i>Festuco versicoloris-Seslerietum tatrae</i>) - calcaires								
T7	0-13	Ah	0	10YR 2/3		5,6	4,9	18,07
	13-40	A	0	10YR 1,7/1		6,4	5,7	5,95
	>40	R						
Dolina Kondratowa (1600 m Altitude); Lithi-Umbric Leptosol (<i>Pinetum mughi</i>) - granitoides								
T12	0-1	Ol	-					
	1-15	Ofh	-	2,5YR 2/3		3,3	2,5	37,11
	15-20	AhEes	20	7,5YR 3/2		3,7	2,9	9,35
	20-30	Bhfe	30	5Y 3/3		3,8	3,1	9,79
	>30	BhfeC	90	5Y 3/3				
Dolina Kondratowa (1600 m Altitude); Rendzi-Umbric Leptosol (<i>Pinetum mughi</i>) - calcaires								
T8	0-1	Ol	-					
	1-16	Ofh	-	10YR 2/2		4,2	3,6	37,51
	16-25	Oh	-	10YR 1,7/1		4,6	4,0	31,04
	25-35	Ah	10	7,5YR 2/1		7,3	6,9	5,83
	>35	R						

Tab. 2. Pourcentage de C-org dans les fractions particulières de humus

No.	Profondeur cm	Horizon	Fractions libres			Fractions liées			Total		Ch:Cf	HI	Total	
			F1+F2	F1+F2	R	F3+F4+F5	F3+F4+F5	Humines	Fulvic Ac.	Humic Ac.			Fractions libres	Fractions liées
MC1	0-30	Ofh1	1,06	1,20	11,76	0,19	0,05	0,21	1,25	1,25	1,00	0,19	14,02	0,45
	30-50	Ofh2	2,02	1,15	6,65	0,16	0,04	0,10	2,18	1,19	0,55	0,34	9,82	0,30
	50-60	Oh	1,43	0,97	5,47	0,45	0,18	0,43	1,88	1,15	0,61	0,39	7,87	1,06
MC2	0-15	Ofh	0,91	0,83	28,54	0,00	0,00	0,20	0,91	0,83	0,91	0,06	30,28	0,20
MC11	0-50	Ah	0,95	0,84	14,31	0,11	0,06	0,19	1,06	0,90	0,85	0,13	16,10	0,36
MC13	3-9	Ofh	0,07	0,29	15,89	0,09	0,04	0,09	0,16	0,33	2,06	0,04	16,25	0,22
	9-20	Ah	0,00	0,00	0,05	0,39	0,07	1,01	0,39	0,07	0,18	0,97	0,05	1,47
B15	2-15	Ofh	0,00	0,00	13,82	2,36	1,08	0,85	2,36	1,08	0,46	0,24	13,82	4,29
B16	2-19	Ah	1,11	0,53	6,22	0,16	0,17	0,76	1,27	0,70	0,55	0,30	7,86	1,09
T6	0-12	Ah	4,64	1,90	7,12	0,71	0,29	0,15	5,35	2,19	0,41	0,47	13,66	1,15
T7	0-13	Ah	5,90	4,33	7,07	0,23	0,17	0,27	6,13	4,50	0,73	0,61	17,30	0,67
T12	1-15	Ofh	2,97	0,19	33,19	0,00	0,00	0,01	2,97	0,19	0,06	0,11	36,35	0,01
T8	1-16	Ofh	3,16	0,17	33,22	0,00	0,00	0,71	3,16	0,17	0,05	0,11	36,55	0,71

R- fractions résiduelles, Ch - acides humiques, Cf - acides fulviques, HI - l'indice d'humification

rapport aux acides humiques. On constate d'autre part, c'est une faible proportion de fractions humifiées liées à la partie minérale du sol. Elle représente, le plus souvent, quelques pour cents.

Le taux d'humification (HI) dans les horizons ecto-humifères O, se situe de manière générale entre 0,1 et 0,4, ce qui souligne un degré limité de transformation des matières organiques. Les processus d'humification des résidus organiques sont plus avancés dans les horizons A, ce qui nous est confirmé par la valeur du coefficient d'humification (HI) se situant à 0,9 environ (Tab. 2). La valeur HI la plus faible apparaît dans les horizons ecto-humifères (de putréfaction) des sols sous l'étage des pins de montagne l'f où la quantité de parties résiduelles (R) représente environ 90%. La faible valeur de ce coefficient indique qu'il y a part la minéralisation, les processus d'humification des résidus végétaux ne se manifestent que faiblement et l'humus qui s'accumule présente les caractéristiques d'humus de type mor, mor/moder ou moder alpin (Duchafour 1971). Ceci découle tout aussi bien des facteurs climatiques (des températures moyennes annuelles basses et d'importantes précipitations atmosphériques) que des facteurs édaphiques.

La teneur élevée en matières organiques dans les sols étudiés des zones de montagne est probablement liée au ralentissement des processus micro-biologiques de décomposition de la matière organique ce qui est dû à l'influence des conditions climatiques (Skiba, Drewnik, Drozd 1998, Drewnik 2000). Il faut souligner d'autre part que le facteur déterminant la quantité des substances organiques et la profondeur des strates humifiées est celui du type de substrat végétal qui alimente le sol. La teneur en tannins et en cires dans les résidus mortifiés du *Vaccinium* sp. et dans les aiguilles de pins (*Pinus mugo*) influe sur le ralentissement du rythme de leur décomposition micro-biologique. L'accumulation des matières organiques dépend aussi du relief et de leur localisation sur le versant, c'est-à-dire de l'intensité des processus intervenant sur les versants. Sur ceux relativement peu pentus du Puy Ferrand, du Puy de Gros ou du Puy Paillaret dans le massif des Monts Dore, ou dans les parties supérieures de Wielka Rawka dans les Bieszczady, l'intensité de l'évacuation par gravitation des résidus végétaux est plus faible que sur les versants en forte pente des Tatras. Une importante profondeur des strates humifiées au dessous de l'étage des pins dans les Tatras est due au caractère protecteur des racines des pins. Le facteur déterminant l'importante profondeur des strates d'humus des sols dans le massif des Monts Dore est probablement la participation des éluvions de sédiments pyroclastiques et des roches magmatiques effusives. Les strates humifiées décrites de ces sols possèdent les caractéristiques des strates *andic*.

Tab. 3. Pourcentage de C-org dans les fractions particulières des acides humines

No.	Profondeur cm	Horizon	Fractions libres			Fractions liées			Total		Total	
			F1+F2	H1+H2	R	F3+F4+F5	H3+H4+H5	Humines	Fulvic Ac.	Humic Ac.	Fractions libres	Fractions liées
MC1	0-30	Ofh1	7,3	8,3	81,3	1,3	0,3	1,5	8,6	8,6	96,9	3,1
	30-50	Ofh2	20,0	11,4	65,7	1,6	0,4	1,0	21,5	11,8	97,0	3,0
	50-60	Oh	16,0	10,9	61,3	5,0	2,0	4,8	21,1	12,9	88,1	11,9
MC2	0-15	Ofh	3,0	2,7	93,6	0,0	0,0	0,7	3,0	2,7	99,3	0,7
MC11	0-50	Ah	5,8	5,1	86,9	0,7	0,4	1,2	6,4	5,5	97,8	2,2
MC13	3-9	Ofh	0,4	1,8	96,5	0,5	0,2	0,5	1,0	2,0	98,7	1,3
	9-20	Ah	0,0	0,0	3,3	25,7	4,6	66,4	25,7	4,6	3,3	96,7
B15	2-15	Ofh	0,0	0,0	76,3	13,0	6,0	4,7	13,0	6,0	76,3	23,7
B16	2-19	Ah	12,4	5,9	69,5	1,8	1,9	8,5	14,2	7,8	87,8	12,2
T6	0-12	Ah	31,3	12,8	48,1	4,8	2,0	1,0	36,1	14,8	92,2	7,8
T7	0-13	Ah	32,8	24,1	39,3	1,3	0,9	1,5	34,1	25,0	96,3	3,7
T12	1-15	Ofh	8,2	0,5	91,3	0,0	0,0	0,0	8,2	0,5	100,0	0,0
T8	1-16	Ofh	8,5	0,5	89,2	0,0	0,0	1,9	8,5	0,5	98,1	1,9

R - fractions résiduelles

4. Résumé et conclusions

Le sol est une composante importante car multi-fonctionnelle du milieu naturel. Il constitue le maillon intermédiaire reliant le milieu naturel minéral avec le milieu naturel organique, ce qui se traduit et s'exprime le mieux dans les zones de montagne. Le rôle des sols ne s'y limite pas uniquement à la production de bio-masse. Les sols, en participant à la circulation de la matière et de l'énergie grâce aux éco-systèmes, contribuent aussi à l'accumulation des substances organiques, à la circulation des composantes biogènes et à la rétention de l'eau. Les propriétés d'absorption et d'échange ionique déterminent ses capacités de résistance et d'autorégulation ce qui garantit une stabilité des éco-systèmes dans le cas d'une forte pression des facteurs extérieurs (par exemple la pression anthropique). De telles propriétés des sols découlent, en une large mesure, de la présence de l'humus dont le rôle augmente en fonction de la diminution des colloïdes minéraux provenant des éluvions rocheux, comme cela se passe dans les sols superficiels et squelettiques des zones de montagne.

Les zones de montagne décrites, à savoir Monts Dore, les Bieszczady et les Tatras, se trouvent soumises, en raison de leur attractivité touristique, à une pression anthropique particulièrement forte. La nappe des sols et, en particulier, les strates humifères supérieures sont exposées, au premier lieu, à la dégradation. C'est pourquoi, en présentant une caractéristique des sols humifères de ces terrains il faut attirer l'attention sur le fait que la constitution des strates d'humus se déroule sur une période de temps assez longue et constitue la condition d'un fonctionnement stable des éco-systèmes. Une atteinte anthropique portée à cet équilibre fragile dans la montagne (avec une forte dynamique des processus morphogénétiques) peut alors entraîner des transformations difficiles réparables.

Les caractéristiques communes que nous avons présentées en ce qui concerne les sols du massif des Monts Dore et de certaines régions des Carpates, parmi lesquelles on compte notamment la manière avec laquelle se forment les strates supérieures d'accumulation, permettent de formuler, en conclusion quelques remarques à caractère général:

1. Les sols des zones de montagne, en raison d'un sous-sol massif, subissent difficilement l'altération et compte tenu de la dynamique des processus morphogénétiques liés au relief, se caractérisent par une faible profondeur et par une forte présence de débris d'altération.

2. La matière organique qui se constitue dans des conditions climatiques froides et humides spécifiques à la montagne présente les traits d'un ralentissement des processus d'humification en créant un humus acide et peu décomposé de type mor/moder dans les zones de l'étage des pins et de type moder alpin dans les parties non-forestières au dessus de la limite supérieure de la forêt.
3. La totalité des sols présentés, indépendamment de la nature du sous-sol, se caractérise par un taux humifère élevé et par des propriétés similaires de l'humus.

Remerciements

Les auteurs remercient sincèrement le professeur Daniel Ricard qui a bien voulu vérifier la traduction française de cet article.

Bibliographie

- Bednarek R., Prusinkiewicz Z., 1997, *Geografia gleb*, PWN. Warszawa, pp. 288.
- Brady N.C., Weil R.R., 1999, *The Nature and Properties of Soils*. Prentice Hall. New Jersey, pp. 882.
- Dobrovolskij G.W., Urusevskaja I.S., 1984, *Geografija poczw*. Izd. Moskowsk. Uniwers. pp.416.
- Drewnik M., 2000, *Ectohumus Horizons and the Rate of Organic Matter Decomposition in the Carpathian Soils*, [dans:] B.Obrębska-Starkel (dir.), *Studies in Physical Geography*, Inst. Geografii UJ. Prace Geogr., 105, pp. 391-491.
- Duchafour P., 1970, *Précis de Pédologie*, Masson et Cie.Paris. pp. 482.
- Kubienna W.L., 1970, *Micromorphological Features of Soil Geography*, Rutgers Univ. Press. New Brunswick, New Jersey, pp. 255.
- Skiba S. Drewnik M. Drozd J., 1997, *Characteristics of the Organic Matter of Ectohumus Horizons in the Soils of Different Mountain Regions in Poland*, [dans:] Drozd J. Gonet S. Senesi N. Weber J.(dir.), *The Role of Humic Substances in the Ecosystems and in Environmental Protection*, IHSS. pp. 497-505.

Ecological conditions of the humic properties of the mountain region soils

(on the example of some Carpathian and Massif central areas)

Summary

A characteristic feature of the mountain soils is the occurrence of a greater amount of the acidic and weakly decomposed organic matter (mor/moder). It usually forms deep humic horizons and greatly influences the formation of the alpine vegetation habitats as well as the direction of the soil forming process.

A comparison of the organic matter properties of the mountain soils formed on various bedrock in the Carpathian Mts. (sandstones, Flysch slates - Bieszczady Mts.; limestones, granitoides – Tatra Mts.) and in the Massif Central (volcanic ashes, andezites, dolerites – Monts Dore) (Tab.1).

Characteristic features of all the researched soils are as follows: depth of the humic horizons and similar properties of the organic matter (Tab. 2-3). The humic horizons are usually around 30 cm deep with the 30-50% amount of the organic matter in the ectohumic horizons and 10-20% in the endohumic horizons. In the ectohumus horizons fulvic acids prevail over the humic ones. The humification index for the ectohumic horizons is around 0.1-0.4 and it means a considerably small degree of changes

of the accumulated organic matter what is characteristic for the humus of the mor/moder type formed in the mountain regions. The organic matter formed in the cool and humid mountain climatic conditions shows properties of the decreasing pace of the humification processes. Regardless the bedrock all the presented soils can be characterised with similar humic horizon properties.

Stefan Skiba, Marek Drewnik, Rafał Szmuc
Institut de Géographie et d' Aménagement du Territoire
Université Jagellonne
Cracovie
Pologne

Ryszard Mazurek
Académie d'Agriculture
Cracovie
Pologne