

Grażyna OLSZOWSKA\*

## AKTYWNOŚĆ ENZYMATYCZNA WIERZCHNICH WARSTW GLEB REGLA DOLNEGO I GÓRNEGO KARKONOSKIEGO PARKU NARODOWEGO

ENZYMATIC ACTIVITY OF UPPER LAYERS OF FOREST SOILS AT UPPER  
AND LOWER MOUNTAIN REGIONS IN KARKONOSZE NATIONAL PARK

***Abstract.** Intensity of biochemical activity of upper layer of forest soil due to the distance from the tree stem base was the aim of the presented study. Soil samples were collected in spring and autumn from the organic layer and the distances of 30 cm and 100–200 cm from the stem base. 4 sites – 2 located in the lower mountain region and another 2 – in the upper one, all situated in the Karkonoski National Park were used to obtain soil samples, of which urease, asparaginase, acid phosphatase and dehydrogenases activity, as well as organic carbon content was then determined. Preliminary results showed that activity of selected enzymes was higher in the samples taken 100–200 cm apart the stem base compare to the samples located close to the tree both in the lower and in the upper mountain regions. Samples collected in the upper mountain region were characterized by higher, than samples from the lower mountain region, activity of acid phosphatase, urease and asparaginase and the higher content of organic carbon. Activity of dehydrogenases that reflect overall development of soil microorganisms was in contrast, twofold lower in samples from upper mountain region than the lower one, what might indicate the inactivation of those enzymes.*

***Key words:** forest soils, enzyme activity, upper forest, lower forest, Karkonosze National Park.*

---

\* Instytut Badawczy Leśnictwa, Zakład Gospodarki Leśnej Rejonów Przemysłowych, ul. św. Huberta, 40-952 Katowice, e-mail: olszows@ibles.waw.pl

## 1. WSTĘP

Pod wpływem czynników zewnętrznych i wewnętrznych powstaje w ekosystemach leśnych mozaikowe zróżnicowanie przestrzenne gleby. Rola przestrzennego zróżnicowania gleby w środowisku leśnym jest najlepiej widoczna w procesie odnowienia lasu, którego powodzenie jest związane z obecnością mikrosiedlisk o warunkach sprzyjających powstawaniu, wzrostowi i przeżywalności siewek (Gil 1995). Dostające się do gleby resztki roślinne, ciała obumarłych zwierząt, żywa i martwa mikrofauna oraz mikroflora glebowa tworzą w warunkach glebowych mikronisze ekologiczne, stanowiące środowisko życia drobnoustrojów. W wyniku ich działalności, w procesach rozkładu i mineralizacji następuje uwalnianie nieorganicznych związków i włączanie ich w obieg biologiczny. Pozwala to na stałe zaopatrywanie roślin w niezbędne substraty odżywcze. Przebieg reakcji biochemicznych związanych z przemianą materii organicznej katalizowany jest przez enzymy, których źródłem są mikroorganizmy, fauna glebowa i rośliny. Aktywność enzymów zależy między innymi od ilości i jakości koloidów glebowych, odczynu, zawartości makro- i mikroelementów oraz substancji organicznej, pory roku, wilgotności i temperatury gleby (Trojanowski 1973, Burns 1978). Pomimo wielu czynników modyfikujących działanie enzymów glebowych, ich aktywność – zdaniem wielu autorów – jest wiarygodną miarą żyzności i produktywności gleb (Balicka 1986, Lähdesmaki i Piispanen 1992, Olszowska i in. 2005).

Wyniki badań\* umożliwiły określenie intensywności reakcji biochemicznych, odzwierciedlających m.in. potencjalną możliwość dostarczania składników odżywczych niezbędnych dla rozwoju roślin. Ustalenie zależności pomiędzy przebiegiem reakcji biochemicznych istotnych w procesach przemian substancji organicznej a zasobnością gleb pozwoliło na ocenę przydatności badań aktywności enzymatycznej jako wskaźnika żyzności gleb (istotnego czynnika stanu siedlisk leśnych).

## 2. CEL I ZAKRES BADAŃ

Celem prowadzonych badań było określenie intensywności przemian biochemicznych w glebach w różnych odległościach od pnia drzewa.

Obiektem badań były gleby leśne na powierzchniach zlokalizowanych w reglu dolnym i reglu górnym Karkonoskiego Parku Narodowego.

---

\*Badania wykonano w ramach tematu "Monitoring efektów czynnej ochrony ekosystemów leśnych KPN w latach 1998–2000 finansowanego przez EkoFundusz, WFOŚiGW, NFOŚiGW.

Zakres tematyczny obejmuje badania zawartości węgla organicznego i aktywności następujących enzymów glebowych: ureazy, asparaginazy, fosfatazy kwaśnej i dehydrogenaz.

Badaniami zostały objęte enzymy katalizujące najistotniejsze reakcje związane z przemianą substancji organicznej, takie jak: rozkład węglowodanów, przemiany związków azotowych i fosforowych oraz dehydrogenacja związków organicznych.

### 3. OBIEKT BADAŃ

Roślinność Karkonoskiego Parku Narodowego ma typowy dla gór układ piętrowy, a granice pięter w Karkonoszach położone są znacznie niżej niż w Karpatach. Górna granica pogórza kończy się na wysokości około 500 m n.p.m. Piętro regla dolnego rozciąga się pomiędzy 500 a 1000 m n.p.m. Występują tu buczyny oraz bór jodłowo-świerkowy *Abieti-Piceetum (montanum)*. Regiel górny (1000-1250 m n.p.m.) zajmują świerczyny, których stanowiska wyznaczają górną granicę lasu.

Pierwszą (I) i drugą powierzchnię (II) badawczą zlokalizowano w reglu dolnym w oddziale 31f i 104d na wysokości około 800 m n.p.m. Przeważała tutaj acidofilna buczyna górską z świerkiem *Picea abies* (L.) H. Karst. w pierwszym piętrze, jarzębiną *Sorbus aucuparia* L. em. Hedl. w podroście i bukiem *Fagus sylvatica* L. w podszycie. Dominowały gleby brunatne kwaśne.

Trzecia (III) i czwarta (IV) powierzchnia badawcza została wyznaczona w reglu górnym na wysokości powyżej 1000 m n.p.m w oddziale 71h oraz 200f. Ze zbiorowisk roślinnych dominowała tutaj górnoreglowa świerczyna sudecka. Na powierzchni badawczej występowało luźne zwarcie oraz wiele martwych stojących drzew, wśród których dominowały świerki. Przeważały gleby glejowo-bielicowe i piaski słabogliniaste.

### 4. METODYKA BADAŃ

#### 4.1. Badania terenowe

Prace terenowe przeprowadzono w Karkonoskim Parku Narodowym (50°45'–50°49'N; 15°27'–15°49'E). Wytypowano siedem powierzchni badawczych, każda po 0,25 ha, w oddziałach 31f, 104d (regiel dolny) oraz w oddziałach 71h, 200f (regiel górny). Na każdej powierzchni wyznaczono cztery punkty, w których rosły drzewa lub pniaki i w ich sąsiedztwie pobierano próby glebowe.

Próby pobierano za pomocą próbnika o objętości 200 cm<sup>3</sup> z dwóch miejsc w odległości 30 cm od wyznaczonego punktu (pnia drzewa) oraz z dwóch miejsc w odległości 1–2 m. Dokonano dwukrotnego zbioru prób późną wiosną (14.06.1999; 12.06.2000) oraz dwukrotnego jesienią (7.10.1999; 22.09.2000).

#### 4.2. Badania laboratoryjne

Próby glebowe wysuszono w temperaturze pokojowej i przesiano przez sito o średnicy oczek 1 mm. Następnie oznaczono aktywność następujących enzymów:

- ureazy, metodą kolorymetryczną, wyrażając aktywność w mg NH<sub>3</sub> na 10 g gleby (Gałstjan 1978);
- asparaginazy, metodą kolorymetryczną, wyrażając aktywność w mg NH<sub>3</sub> na 10 g gleby (Gałstjan 1978);
- fosfatazy kwaśnej, metodą kolorymetryczną, wyrażając aktywność w mg fenolu na 10 g gleby (Russel 1972);
- dehydrogenaz, metodą kolorymetryczną, wyrażając aktywność w mg TF (trójfenyloformazanu) na 10g gleby (Gałstjan 1978, Russel 1972).

W analizatorze SC-132 firmy LECO oznaczono procentową zawartość węgla organicznego.

Istotność wyników sprawdzono statystycznie metodą analizy wariancji wieloczynnikowej ANOVA i testem Tukeya. Przy testowaniu statystycznym badanych parametrów przyjęto poziom istotności  $p < 0,05$ .

## 5. WYNIKI BADAŃ

Przeprowadzone dwuletnie badania wskazują na duże zróżnicowanie aktywności wybranych enzymów, związane zarówno z terminem, jak i miejscem poboru prób. Jak wykazała analiza wariancji aktywność fosfatazy kwaśnej ( $F=18$ ;  $p < 0,0001$ ) i dehydrogenaz ( $F=3,6$ ;  $p < 0,05$ ) była istotnie wyższa w okresie jesiennym niż wiosennym. Aktywność ureazy i asparaginazy w analogicznym okresie była nieznacznie wyższa wiosną niż jesienią, różnice te były statystycznie nieistotne (tab. 1).

Wyniki badań wskazują, że aktywność ureazy ( $F=3,9$ ;  $p < 0,05$ ) była istotnie wyższa w odległości 100–200 cm niż 30 cm od pnia drzewa na wszystkich powierzchniach badawczych w reglu dolnym i górnym. Podobną tendencję, oprócz powierzchni pierwszej, obserwowano w aktywności dehydrogenaz, która była statystycznie istotnie wyższa w większej odległości od pnia drzewa ( $F=4,2$ ;  $p < 0,05$ ). Aktywność asparaginazy i fosfatazy kwaśnej była natomiast wyższa bliżej drzewa i malała wraz ze wzrostem odległości, niewielkie różnice nie były istotne statystycznie (tab. 2).

**Tabela 1. Średnia aktywność enzymatyczna gleb regla dolnego i górnego w sezonach**  
 Table 1. Average enzymatic activity of forest soils at lower forest and upper mountain regions in the season

Nr powierzchni Plot No	Oddział Compartment	Sezon Season	Ureaza Urease (mg NH <sub>3</sub> /10g s.m.)		Asparaginaza Asparaginase (mg NH <sub>3</sub> /10g s.m.)		Fosfataza kwaśna Acid phosphatase (mg fenolu/10g s.m.)		Dehydroge- nazy Dehydroge- nases (mg TF/10g s.m.)	
			a	b	a	b	a	b	a	b
I	regiel dolny lower moun- tain region 104 d	wiosna spring	30,42	36,99	8,21	9,62	3,00	3,88	10,72	7,84
		jesień autumn	26,68	24,35	7,68	6,35	3,63	3,56	7,37	10,14
II	31 f	wiosna spring	39,05	38,03	12,47	10,77	5,32	4,79	5,36	7,50
		jesień autumn	26,53	31,31	11,09	7,93	5,98	4,73	10,04	18,58
			30,67	32,67	9,86	8,67	4,48	4,24	8,37	11,01
III	regiel górny upper moun- tain region	wiosna spring	38,47	47,22	13,81	10,36	4,84	4,02	5,84	10,56
	200 f	jesień autumn	46,70	69,13	11,98	11,93	8,38	7,69	7,08	9,46
IV	71h	wiosna spring	32,89	39,81	8,38	12,47	4,99	4,65	6,08	5,95
		jesień autumn	23,67	45,83	10,54	12,20	6,19	5,82	4,74	6,41
			35,43	50,50	11,18	11,74	6,10	5,54	5,94	8,09
Średnia Average	regiel dolny lower moun- tain region	wiosna spring	35,21	40,51	10,72	10,80	4,54	4,33	7,00	7,96
	regiel górny upper moun- tain region	jesień autumn	30,90	42,65	10,32	9,60	6,04	5,45	7,31	11,15

Odległość od pnia drzewa: a – 30 cm, b – 100–200 cm

Distance from tree trunks: a – 30 cm, b – 100–200 cm

W całym okresie badawczym stwierdzano wyraźny wpływ położenia n.p.m. powierzchni badawczych na aktywność badanych na nich enzymów glebowych. Istotnie wyższą aktywność ureazy, asparaginazy i fosfatazy kwaśnej notowano w reglu górnym niż dolnym. Najwyższe istotne różnice pomiędzy reglem dolnym i górnym obserwowano w aktywności fosfatazy kwaśnej ( $F=20,7$ ;  $p<0,001$ ), asparaginazy ( $F=9,9$ ;  $p<0,002$ ) oraz ureazy ( $F=3,7$ ;  $p<0,05$ ). Natomiast aktywność dehydrogenaz ( $F=5,4$ ;  $p<0,02$ ) była blisko dwukrotnie niższa w reglu górnym niż dolnym (tab. 2).

Badania wykazały, że próby glebowe pobrane w reglu górnym zawierają o połowę więcej węgla organicznego niż próby z regla dolnego, odpowiednio 40 i 21%. W reglu górnym i dolnym odległość od pnia drzewa nie miała istotnego wpływu na zawartość węgla organicznego, niższe wartości notowano w większej odległości od pnia drzewa (tab. 2).

**Tabela 2. Aktywność enzymatyczna gleb leśnych regla dolnego i górnego w KPN**  
 Table 2. Enzymatic activity of soils at lower and upper mountain regions in KPN

Nr powierzchni Plot No	Oddział Compartment	Ureaza Urease (mg NH <sub>3</sub> /10g s.m.)		Asparaginaza Asparaginase (mg NH <sub>3</sub> /10g s.m.)		Fosfataza kwaśna Acid phosphatase (mg fenolu/10g s.m.)		Dehydroge- nazy Dehydroge- nases (mg TF/10g s.m.)		Węgiel organiczny Organic carbon (% C)	
		a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
		I	104 d regiel dolny lower mountain region	20,68	23,40	3,95	7,50	31,4	36,7	7,40	9,19
33,68	24,18			5,65	3,98	44,5	35,3	7,65	7,99	13,33	13,98
40,15	50,58			12,47	11,73	28,5	40,8	14,03	6,49	15,47	33,47
19,68	24,51			9,71	8,72	28,1	35,9	7,08	12,28	32,59	11,86
$\bar{x}$	28,55		30,67	7,95	7,98	33,1	37,2	9,04	8,99	18,70	17,54
II	31f regiel dolny lower mountain region	17,40	21,35	9,73	8,00	35,9	44,1	4,61	8,99	33,94	32,68
		23,28	26,28	8,95	6,90	60,8	55,0	6,65	17,68	13,92	28,48
		60,70	54,70	15,21	13,54	70,5	51,6	6,10	6,00	28,90	20,59
		29,78	36,33	13,23	8,96	58,7	39,6	13,43	19,48	25,24	14,03
	$\bar{x}$	32,79	34,67	11,78	9,35	56,5	47,6	7,70	13,04	25,50	22,95
III	200 f regiel górny upper mountain region	26,95	34,15	4,93	3,93	47,1	38,8	4,20	5,23	44,63	23,65
		64,63	122,03	8,65	10,38	81,2	92,3	5,25	5,32	43,40	41,80
		49,98	60,28	22,69	16,78	49,6	41,6	7,48	15,88	43,56	36,39
		28,77	16,23	15,30	13,47	86,4	61,5	8,91	13,60	44,47	41,78
	$\bar{x}$	42,58	58,17	12,89	11,14	66,1	58,6	6,46	10,01	44,02	35,91
IV	71h regiel górny upper mountain region	19,50	22,80	6,30	9,13	51,2	50,5	2,22	3,39	43,58	39,47
		34,00	77,88	6,95	10,78	76,0	67,2	3,70	3,67	43,20	42,34
		46,28	56,82	10,46	15,81	48,6	42,4	9,94	8,50	31,05	40,90
		13,34	13,78	14,12	13,62	47,7	49,1	5,78	9,14	41,83	43,71
	$\bar{x}$	28,28	42,82	9,46	12,34	55,9	52,3	5,41	6,18	39,92	41,61

Oznaczenia jak w tabeli 1

Designations as in the table 1

## 6. PODSUMOWANIE

Wyniki dwuletnich badań wykazały, że aktywność badanych enzymów była zróżnicowana w zależności od odległości od pni drzew. Generalnie, wyższą aktywność enzymatyczną notowano w próbach pobranych w odległości 100–200 cm od pnia drzewa niż w próbach pobranych w odległości 30 cm od drzewa. Wyraźne różnice notowano w aktywności ureazy – enzymu katalizującego mineralizację mocznika, który stanowi istotne źródło azotu dla roślin (Trojanowski 1973, Burns 1978). Na powierzchniach w reglu górnym aktywność tego enzymu była wyższa o 27–34% w dalszej odległości od pnia drzewa niż bliżej drzewa. Na powierzchniach w reglu dolnym różnice te były niewielkie. Na wszystkich powierzchniach badawczych obserwowano wzrost aktywności asparaginazy w drugim roku badań. Asparaginaza katalizuje rozkład L-asparaginy na L-asparginian i amoniak i jest obok ureazy ważnym wskaźnikiem przemian związków azotowych w glebie (Burns 1978). Różnice w aktywności tego enzymu spowodowane odległością od

pnia drzewa były niewielkie i zmienne: na powierzchni II i III aktywność asparaginazy była wyższą bliżej pnia drzewa i malała ze wzrostem odległości, natomiast na I i IV – odwrotnie. Podobnie niewielkie różnice notowano w aktywności fosfatazy kwaśnej enzymu katalizującego uwalnianie się fosforanów nieogranicznych, które stanowią istotne źródło fosforu dla roślin (Burns 1978). Na trzech powierzchniach badawczych aktywność fosfatazy kwaśnej wykazuje nieznaczny wzrost w próbach pobranych bliżej drzewa niż w dalszej odległości. W całym okresie badawczym notowano duże zróżnicowanie w aktywności dehydrogenaz, grupy enzymów katalizujących reakcje utleniania i redukcji za pomocą dehydrogenacji substancji organicznej (Nannipierri i in. 1990). Aktywność dehydrogenaz była wyższą na dwóch powierzchniach o ok. 35–41% w dalszej odległości od pnia drzewa niż bliżej drzewa, a na powierzchni IV różnica ta była niewielka.

Duży wpływ na aktywność enzymatyczną gleb ma zawartość substancji organicznej, którą prawie w 50% stanowi węgiel organiczny. Badania wykazały nieznacznie niższą zawartość węgla organicznego w próbach glebowych pobranych w dalszej odległości od pnia drzewa. Asparaginaza i fosfataza kwaśna należą do enzymów wewnątrzkomórkowych, będących w przeważającej części związanych z substancją organiczną lub ilasto-organiczną. Ich aktywność była niższą w próbach o wyższej zawartości węgla organicznego (bliżej drzewa). Można to tłumaczyć dużym nagromadzeniem kwasów huminowych (jeden z głównych składników substancji organicznej), mogących tworzyć połączenia z enzymami, które blokują aktywne centrum i tym samym utrudniane jest powstawanie kompleksu enzym-substrat. Pacha i in. (1986) obserwowali w swoich badaniach obniżenie aktywności enzymatycznej po dodaniu kwasu huminowego do próbek glebowych. Ich zdaniem, dodane kwasy mogły obniżać aktywność biochemiczną mikroorganizmów glebowych poprzez wiązanie niezbędnych do życia mikro- i makroelementów, jak również poprzez tworzenie połączeń z innymi niezbędnymi do życia mikroorganizmów związkami chemicznymi, w tym i substratami dla enzymów. Połączenia takie są trudniej dostępne dla mikroorganizmów glebowych. Ponadto aktywność fosfatazy kwaśnej jest również związana z występowaniem korzeni drobnych, które w większej ilości występują w dalszej odległości od pnia drzewa. Aktywność dehydrogenaz, które odzwierciedlają między innymi ogólny rozwój mikroorganizmów, była (w przeciwieństwie do innych enzymów) również niższą w reglu górnym, gdzie zawartość węgla organicznego była o ok. 40% wyższą niż w reglu dolnym. Można to tłumaczyć pewną inaktywacją procesów utleniająco-redukujących, co może dodatkowo powodować hamowanie podstawowych procesów biochemicznych związanych z rozkładem i przemianą substancji organicznej. Zahamowanie procesów rozkładu dostającej się do gleby obumarłej materii organicznej, jakie stwierdzono w reglu górnym (niższą aktywność dehydrogenaz), może uniemożliwić stały dopływ substratów odżywczych niezbędnych dla rozwoju roślin, które są warunkiem obiegu materii i energii w przyrodzie, jednego z najważniejszych procesów ekologicznych (Olszowska 1997, Zwoliński i in 1987, Zwoliński 1994). Biorąc pod uwagę dużą zmienność w biologii gleby, spowodowaną wieloma czynnikami środowiska zarówno natu-



ralnego, jak i antropogenicznego, celem jest kontynuacja badań aktywności enzymatycznej gleb w Karkonoskim Parku Narodowym oraz zwiększenie ilości powierzchni badawczych.

Praca została złożona 6.06.2006 r. i przyjęta przez Komitet Redakcyjny 2.01.2007 r.

## ENZYMATIC ACTIVITY OF UPPER LAYERS OF FOREST SOILS AT UPPER AND LOWER MOUNTAIN REGIONS IN KARKONOSZE NATIONAL PARK

### Summary

Enzyme activities in forest soils located both in upper and lower mountain regions in the Karkonoski National Park were investigated. The aim of the present study was to determine the activities of selected enzymes in soils situated in various distances from tree trunks. Organic horizon samples were taken in spring and autumn 1999–2000 in the distance of 100–200 cm and 30 cm from the tree trunks in which urease, asparaginase, acid phosphatase, and dehydrogenase activities, as well as organic carbon contents were estimated. The results obtained up to now show on higher enzyme activities in soils sampled in the distance 100–200 cm from the tree trunks when compared to those sampled in the distance 30 cm, both in upper and lower mountain regions. Soil samples taken in the upper mountain region were characterized by higher organic carbon contents as well as higher activities of acid phosphatase, urease and asparaginase. In contrary, the activity of dehydrogenase, generally suggested as an index of the overall microbial activity of soil, was twofold lower. Due to the short period available for investigations the results obtained are difficult to interpret.

### LITERATURA

- Balicka N. 1986: Wykorzystanie wskaźników mikrobiologicznych w analizie środowiska glebowego. *Post. Mikrob.*, 25, 3/4; 289-291.
- Burns G. 1978: *Soil enzymes*. Academic Press, New York, 149-185.
- Galstjan A.S. 1978: *Opređenje aktivnosti fermentov pocv – metodiceskie ukazanija*. Erevan.
- Gil W. 1995: *Przestrzenne mikroźróńnicowanie gleby leśnej – jego charakter i związki z drzewostanem*. *Sylvan*, 4: 33-39.
- Januszek K. 1993: *Seasonal changes of enzyme activity in mor, moder and mull humus of selected forest soils in the Western Beskid Mountains*. *Fol. For. Pol.*, 35: 59-75.
- Lähdesmaki P., Piispanen R. 1992: *Soil enzymology: role of protective colloid systems in the preservation of exoenzyme activities in soil*. *Soil. Biol. Biochem.*, 11: 1173-1177.
- Myśków W. 1981: *Próby wykorzystania wskaźników aktywności mikrobiologicznej do oceny żyzności gleb*. *Post. Mikrob.*, 20, 3/4; 173-192.
- Nannipieri P., Grego S., Ceccanti B. 1990: *Ecological significance of the biological activity in soil*. *Soil Biochem.*, 6: 293-356.
- Olszowska G. 1997: *Aktywność enzymatyczna gleb leśnych w rejonie oddziaływania emisji huty cynku i ołowiu „Miasteczko Śląskie”*. *Prace Inst. Bad. Leś.*, A, 834: 108-130.
- Olszowska G., Zwoliński J., Matuszczyk I., Syrek D., Zwolińska B., Pawlak U., Kwapis Z., Dudzińska M. 2005: *Wykorzystanie badań aktywności biologicznej do wyznaczenia wskaźnika żyzności gleb w drzewostanach sosnowych na siedliskach boru świeżego i boru mieszanego świeżego*. *Leśne Prace Badawcze*, 3: 17-37.



- Pacha J., Szumlas J. 1986: Wpływ kadmu na aktywność wybranych enzymów w glebie z dodatkiem naturalnych kwasów huminowych. UŚL, Acta Biol., T3: 25-37.
- Russel S. 1972: Metody oznaczania enzymów glebowych. PTG Komisja Biologii Gleby. Warszawa.
- Trojanowski J. 1973: Przemiany substancji organicznych w glebie. PWRiL, Warszawa, 78-91.
- Tyler G. 1976: Heavy metal pollution., phosphatase activity, and mineralization of organic phosphorus in forest soils. Soil Boil. Biochem., 8: 327-332.
- Zagurskaja L. M. 1998: Biologiczeskaja aktiwnost poczw kak pokazatel uslowij rosta lesnich nasazdienij. Lesowedienie, 1: 24-29.
- Zwoliński J., Olszowska G., Zwolińska B. 1987: Soil biological activity as an indicator of industrial pressure on the forest environment. Acta Agr. Silv. Ser. Silv., 26: 25-44.
- Zwoliński J. 1994: Rates of organic matter decomposition in forests polluted with heavy metals. Ecol. Engineering, 3: 17-26.