

ZAWARTOŚĆ METALI CIĘŻKICH W WIERZBIE (*SALIX VIMINALIS*)  
PRZY ZRÓŻNICOWANYM NAWOŻENIU AZOTOWYM

*Stanisław Kalembasa, Andrzej Wysokiński, Rafał Cichuta*

Katedra Gleboznawstwa i Chemii Rolniczej, Akademia Podlaska  
ul. Prusa 14, 08-110 Siedlce  
e-mail: kalembasa@ap.siedlce.pl

**Streszczenie.** Określono wpływ zróżnicowanych dawek azotu wprowadzonych do gleby w osadach ściekowych oraz nawożenia mineralnego na zawartość i pobranie metali ciężkich przez wierzbę krzewiastą (*Salix viminalis*). W doświadczeniu polowym uprawiano wierzbę na obiektach nawożonych osadami ściekowymi w dawkach odpowiadających wprowadzeniu do gleby 100, 150, i 200 kg N·ha<sup>-1</sup> z uzupełniającym nawożeniem potasem. Ponadto wydzielono obiekt nawożony mocznikiem w dawce 150 kg N·ha<sup>-1</sup> i PK, tak aby stosunek N:P:K wynosił 1:0,35:1. Zawartość ołowiu, kadmu, chromu, miedzi, cynku i niklu w pędach wierzby uprawianej na obiektach nawożonych osadami ściekowymi na ogół była największa po zastosowaniu największej dawki tego osadu (200 kg N·ha<sup>-1</sup>). Tylko zawartość niklu w uzyskanej biomase była istotnie największa po zastosowaniu osadu w dawce wprowadzającej 150 kg N·ha<sup>-1</sup>, a ilość chromu w badanych pędach była zbliżona. Zawartość badanych metali ciężkich w pędach wierzby nawożonej mocznikiem najczęściej była zbliżona do ich najwyższych ilości w biomase zbieranej z obiektów nawożonych osadem ściekowym. Ilość metali ciężkich pobrana przez wierzbę ogółem w ciągu 3 lat doświadczenia była najczęściej największa na obiektach nawożonych najwyższą dawką osadu ściekowego (200 kg N·ha<sup>-1</sup>). Najwięcej tych pierwiastków pobrała wierzbą uprawiana w II roku, a najmniej w I roku po założeniu plantacji.

**Słowa kluczowe:** osady ściekowe, azot, wierzbą, metale ciężkie

WSTĘP

Udział energii odnawialnej w bilansie energetyczno-paliwowym Polski, w 2010 roku, powinien wynosić 7,5%. Biomasa stałą pozyskuje się głównie z odpadów leśnych, przemysłu drzewnego i rolno-spożywczego, gospodarki komunalnej oraz rolnictwa. Przewiduje się, że w przyszłości źródłem biomasy będą plantacje roślin energetycznych (Kalembasa i in. 2003, Ericsson i in. 2006). Dużą popularność, zwłaszcza w krajach skandynawskich, zdobyły rośliny drzewiaste szybkiej rotacji,

np. wierzba (*Salix sp.*). Plony wierzb krzewiastych uprawianych w Polsce szacuje się przeciętnie na około 15 ton s.m. $\cdot$ ha<sup>-1</sup> (Stolarski 2003, Szczukowski i in. 2005 a, b). Głównymi czynnikami decydującymi o wysokości jej plonów są warunki glebowe, gatunek i odmiana oraz stosowane nawożenie (Kalembasa i in. 2006a, Stolarski i in. 2007). Do nawożenia plantacji wierzby krzewiastej mogą być wykorzystane nawozy mineralne, organiczne, a także odpady, ponieważ roślina ta dobrze wykorzystuje składniki pokarmowe w nich zawarte. Wykorzystując zdolności wierzby do pobierania dużej ilości metali ciężkich, do jej nawożenia można włączyć osady ściekowe, bez obaw o nadmierne zanieczyszczenie gleby tymi pierwiastkami (Greger i Landberg 1999, Kopec i Gondek 2002, Mathe-Gaspar i Anton 2005, Kalembasa i in. 2006b). Jednak w myśl istniejących uregulowań prawnych (Rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie komunalnych osadów ściekowych) osady ściekowe po zastosowaniu wymagają niezwłocznego wymieszania z glebą, co praktycznie ogranicza możliwości ich wykorzystania tylko przed założeniem plantacji.

Celem przeprowadzonych badań było określenie wpływu zróżnicowanych dawek azotu wprowadzanych do gleby w osadach ściekowych oraz nawożenia mineralnego na zawartość i ilość pobranych metali ciężkich przez wierzbę krzewiastą (*Salix viminalis*).

#### MATERIAŁ I METODY

Doświadczenie polowe założono wiosną 2002 roku, na glebie o składzie granulometrycznym piasku gliniastego lekkiego i prowadzono przez trzy kolejne lata. Gleba charakteryzowała się odczynem obojętnym (pH<sub>KCL</sub> = 6,5) oraz wysoką zawartością węgla w związkach organicznych i azotu ogólnego, wynoszącą odpowiednio 42,5 i 2,50 g $\cdot$ kg<sup>-1</sup>. Zawartość całkowita metali ciężkich, tj.: Pb, Cd, Cr, Cu, Zn i Ni, w tej glebie wynosiła odpowiednio: 0,47; 0,428; 10,1; 21,5; 361,7 i 7,63 mg $\cdot$ kg<sup>-1</sup>. Eksperyment obejmował następujące obiekty o powierzchni poletka 8m<sup>2</sup>: obiekty nawożone osadem ściekowym w dawce zawierającej 100, 150 i 200 kg N $\cdot$ ha<sup>-1</sup>, obiekt nawożony mocznikiem w dawce 50 kg N $\cdot$ ha<sup>-1</sup> corocznie oraz obiekt kontrolny nawożony tylko P i K. Osad ściekowy świeży, pochodzący z miejskiej oczyszczalni ścieków w Siedlcach wprowadzono do gleby jednorazowo, przed sadzeniem wierzby. Osad ten o zawartości 20,2 % suchej masy, zawierał (w g $\cdot$ kg<sup>-1</sup> s.m.): C 323; N 50,6 oraz (w mg $\cdot$ kg<sup>-1</sup> s.m.): Pb 47,1; Cd 6,39; Cr 28,8; Cu 139,2; Zn 1573; Ni 30,6. Mocznik stosowano w każdym roku (w ciągu 3 lat) przed ruszeniem wegetacji. W pierwszym roku na wszystkich obiektach nawożonych osadem ściekowym zastosowano uzupełniające nawożenie potasowe (sól potasowa) tak, aby stosunek N:K wynosił 1:1. Na obiektach nawożonych mocznikiem zastosowano fosfor i potas, w postaci nawozów mineralnych (superfosfat

potrójny i sól potasowa) tak, aby stosunek N:P:K wynosił 1:0,35:1. Ilość P i K zastosowana na obiekcie kontrolnym odpowiadała ilości tych pierwiastków wniesionych do gleby wraz z osadem w dawce  $150 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ .

Eksperyment założono w czterech powtórzeniach i uprawiano wierzbę krzewiastą (*Salix viminalis*) klon 1056. Na powierzchni  $1 \text{ m}^2$  wysadzono po 7 sztobrów. Biomasa wierzby zbierano w lutym każdego roku. Bezlistne pędy wierzby wstępnie rozdrobniono, pobrano reprezentatywne próbki, wysuszono do stałej masy, a następnie po dokładnym rozdrobnieniu zmineralizowano „na sucho” w temperaturze  $450^\circ\text{C}$ . Uzyskany popiół zalano  $6 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$  HCl w celu rozłożenia węglanów i odparowano jego nadmiar. Powstałe chlorki przeniesiono do kolb miarowych w 10% roztworze HCl. W otrzymanym roztworze oznaczono zawartość metali ciężkich metodą ICP-AES.

Wyniki badań opracowano statystycznie z wykorzystaniem analizy wariancji dla doświadczenia dwuczynnikowego w układzie całkowicie losowym, założonego w 4 powtórzeniach. Wartości  $\text{NIR}_{0,05}$  obliczono z wykorzystaniem testu Tukeya.

#### WYNIKI I DYSKUSJA

Największą średnią zawartość ołowiu, miedzi, kadmu i cynku w pędach wierzby uprawianej w pierwszych trzech latach po założeniu plantacji na obiektach nawożonych osadami ściekowymi uzyskano po zastosowaniu największej jego dawki ( $200 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ ). Zawartość tych pierwiastków w wierzbie nawożonej mniejszymi dawkami osadu ściekowego ( $100$  i  $150 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ ) nie różniła się istotnie, z wyjątkiem cynku, którego ilość oznaczona w tej roślinie nawożonej najmniejszą dawką osadu była istotnie mniejsza niż po zastosowaniu dawek większych. Zawartość chromu w pędach wierzby nawożonej różnymi dawkami osadu ściekowego nie różniła się istotnie. Ilość niklu oznaczona w wierzbie nawożonej osadem ściekowym w dawce wnoszącej do gleby  $150 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$  była istotnie większa niż po zastosowaniu dawki mniejszej i większej (tab. 1).

Pędy wierzby zbierane z obiektu kontrolnego najczęściej nie różniły się pod względem zawartości ołowiu, miedzi i niklu w porównaniu z wierzbą nawożoną osadami ściekowymi. Zawartość kadmu, chromu i cynku w biomasie wierzby uprawianej na obiekcie kontrolnym była najczęściej większa niż na obiektach nawożonych osadami ściekowymi. Wyjątek stanowiła wierzba uprawiana na obiekcie nawożonym najwyższą dawką osadu ściekowego, która zawierała więcej ołowiu oraz podobną ilość kadmu i cynku w porównaniu z roślinami zbieranymi z obiektu kontrolnego. Ilość niklu oznaczona w biomasie wierzby zbieranej z obiektu kontrolnego była również mniejsza niż po zastosowaniu osadu ściekowego w dawce wnoszącej  $150 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ .

**Tabela 1.** Zawartość metali ciężkich (mg·kg<sup>-1</sup> s.m.) w pędach wierzby  
**Table 1.** Content of heavy metals (mg kg<sup>-1</sup> d.m.) in willow stems

Dawki azotu Doses of nitrogen	Ołów – Lead				Kadm – Cadmium				Chrom – Chromium			
	Lata doświadczenia Years of cultivation			Średnia Mean	Lata doświadczenia Years of cultivation			Średnia Mean	Lata doświadczenia Years of cultivation			Średnia Mean
	I	II	III		I	II	III		I	II	III	
0 kg N*	4,57	3,08	2,45	3,37	0,847	0,668	0,578	0,698	0,375	0,478	0,165	0,339
100 kg N (osad - sludge)	4,31	3,35	2,18	3,28	0,664	0,396	0,298	0,453	0,248	0,470	0,157	0,292
150 kg N (osad - sludge)	4,49	2,48	2,32	3,10	0,545	0,322	0,440	0,436	0,331	0,368	0,069	0,256
200 kg N (osad - sludge)	5,09	4,08	1,85	3,67	0,976	0,525	0,419	0,640	0,299	0,412	0,133	0,281
150 kg N (mocznik - urea)	4,46	2,55	2,64	3,22	0,926	0,479	0,387	0,597	0,372	0,423	0,091	0,295
Średnie – Means	4,58	3,11	2,29	3,33	0,792	0,478	0,424	0,565	0,325	0,430	0,123	0,293
NIR <sub>0,05</sub> – LSD <sub>0,05</sub>		0,31		0,48		0,054		0,082		0,029		0,044
	Miedź – Copper				Cynk – Zinc				Nikiel – Nickel			
0 kg N*	14,44	9,82	8,35	10,87	107,6	620,6	121,8	283,3	10,65	7,04	14,20	10,63
100 kg N (osad - sludge)	12,67	11,02	8,10	10,60	101,0	71,5	81,0	84,5	12,37	8,87	7,77	9,67
150 kg N (osad - sludge)	13,10	8,51	8,73	10,11	75,8	430,9	121,0	209,2	14,27	9,28	6,36	15,26
200 kg N (osad - sludge)	14,49	11,63	7,74	11,29	87,8	636,1	104,9	276,3	19,06	11,17	15,56	9,97
150 kg N (mocznik - urea)	17,23	11,80	8,32	12,45	136,3	616,0	110,9	287,7	17,78	11,64	11,82	13,75
Średnie - means	14,39	10,56	8,25	11,06	101,7	475,0	107,9	228,2	14,83	9,60	11,14	11,86
NIR <sub>0,05</sub> – LSD <sub>0,05</sub>		1,03		1,56		28,2		42,9		1,12		1,70

\*0 kg N – obiekt kontrolny – control treatment.

**Tabela 2.** Ilość metali ciężkich ( $\text{g}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) pobranych przez wierzbę  
**Table 2.** Uptake of heavy metals ( $\text{g}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) by willow

Dawki azotu Doses of nitrogen	Ołów – Lead					Kadm – Cadmium					Chrom – Chromium				
	Lata doświadczenia Years of cultivation			Średnia Mean	Suma Sum	Lata doświadczenia Years of cultivation			Średnia Mean	Suma Sum	Lata doświadczenia Years of cultivation			Średnia Mean	Suma Sum
	I	II	III			I	II	III			I	II	III		
0 kg N*	23,0	95,1	61,5	59,9	179,6	4,26	20,63	14,52	13,14	39,41	1,88	14,76	4,14	6,93	20,79
100 kg N (sludge)	26,3	113,5	60,5	66,8	200,3	4,06	13,41	8,28	8,58	25,75	1,52	15,92	4,36	7,27	21,80
150 kg N (sludge)	18,9	78,9	71,0	56,3	168,8	2,29	10,25	13,47	8,67	26,01	1,39	11,71	2,11	5,07	15,21
200 kg N (sludge)	33,1	142,5	68,1	81,2	243,7	6,36	18,34	15,43	13,38	40,13	1,95	14,39	4,90	7,08	21,24
150 kg N (urea)	14,3	69,2	67,7	50,4	151,2	2,97	12,99	9,93	8,63	25,89	1,20	11,47	2,34	5,00	15,00
Średnie – Means	23,1	99,8	65,8	62,9	–	3,99	15,12	12,33	10,48	–	1,59	13,65	3,57	6,27	–
NIR <sub>0,05</sub> – LSD <sub>0,05</sub>		6,5		9,9	–		1,07		1,62	–		0,75		1,13	–
	Miedź – Copper					Cynk – Zinc					Nikiel – Nickel				
0 kg N*	72,6	303,3	209,7	195,2	585,6	541	19169	3059	7590	22768	53,5	217,4	356,6	209,2	627,6
100 kg N (sludge)	77,4	373,3	225,0	225,2	675,7	617	2422	2250	1763	5289	75,6	300,5	215,8	197,3	591,9
150 kg N (sludge)	55,0	270,8	267,2	197,7	593,1	318	13713	3704	5912	17736	80,1	355,5	476,3	304,0	911,9
200 kg N (sludge)	94,4	406,3	285,0	261,9	785,7	572	22224	3863	8886	26659	92,9	324,2	234,2	217,1	651,4
150 kg N (urea)	55,4	320,1	213,5	196,3	588,9	438	16709	2846	6664	19993	57,1	315,7	303,3	225,4	676,2
Średnie – Means	71,0	334,8	240,1	215,3	–	497	14847	3144	6163	–	71,8	302,7	317,2	230,6	–
NIR <sub>0,05</sub> – LSD <sub>0,05</sub>		21,9		33,3	–		865		1315	–		23,7		36,1	–

\*0 kg N – obiekt kontrolny – control treatment.

Zawartość badanych metali ciężkich w pędach wierzby nawożonej mocznikiem najczęściej była zbliżona do ich najwyższych ilości w biomacie zbieranej z obiektów nawożonych osadem ściekowym.

Największą zawartość ołowiu, kadmu, miedzi i niklu w wierzbie stwierdzono w I roku uprawy wierzby, natomiast ilość chromu i cynku największa była w II roku.

Niewielkie różnice w zawartości metali ciężkich w wierzbie nawożonej osadami ściekowymi i uprawianej na obiektach kontrolnych uzyskane w badaniach własnych i podawane w literaturze (Łazdina i in. 2007) mogą wynikać z ich rozmieszczenia w relatywnie dużej biomacie uzyskanej na obiektach nawozowych. W związku z tym uzyskane wyniki dla zawartości badanych metali ciężkich należy uzupełnić o ich ilość, jaka została zgromadzona w zebranej biomacie.

Ilość pobranych metali ciężkich przez wierzbę w okresie trzech pierwszych lat jej uprawy (tab. 2) była proporcjonalna do ich zawartości w roślinie (tab. 1) i uzyskanego plonu (Kalembasa i in. 2006b). Najwięcej metali ciężkich zgromadziła wierzba uprawiana w II roku badań, natomiast najmniej w I roku po założeniu plantacji. Ilość metali ciężkich pobrana przez wierzbę ogółem w ciągu 3 lat doświadczenia była najczęściej największa na obiektach nawożonych najwyższą dawką osadu ściekowego ( $200 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ ). Pobranie tych pierwiastków przez wierzbę uprawianą na obiektach kontrolnych było najczęściej większe niż po zastosowaniu nawożenia osadami ściekowymi i NPK w postaci nawozów mineralnych. Uzyskane zależności należy najprawdopodobniej łączyć ze znaczną zasobnością gleby, na której uprawiano roślinę energetyczną, zarówno w składniki pokarmowe dla roślin, jak i metale ciężkie.

Uwzględniając dotychczasowe, średnioroczne tempo pobierania metali ciężkich przez wierzbę, ich ilość wprowadzona do gleby wraz z badanym osadem ściekowym została lub zostanie pobrana w czasie: 1 roku Ni, 2 lat Zn oraz około 4 lat Pb, Cd i Cu. Tylko zapas chromu wyczerpie się po ok. 30 latach. Uzyskane wyniki potwierdzają duże możliwości akumulacji znacznej ilości metali ciężkich przez wierzbę i jej przydatność do uprawy w warunkach nawożenia osadami ściekowymi (Kaniuczak i in. 2000, Baran i in. 2001, Michałowski i Gołaś 2001).

## WNIOSKI

1. Zawartość ołowiu, miedzi i niklu w bezlistnych pędach wierzby uprawianej na obiekcie kontrolnym i obiektach nawożonych osadami ściekowymi najczęściej nie różniły się istotnie. Ilość chromu, kadmu i cynku w biomacie wierzby zbieranej z obiektów kontrolnych była na ogół większa niż po zastosowaniu osadów ściekowych. Wierzba nawożona najwyższą dawką osadu ściekowego ( $200 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) zawierała na ogół więcej oznaczanych metali ciężkich niż po zastosowaniu dawek mniejszych ( $100$  i  $150 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ )

2. Zawartość metali ciężkich w biomase wierzby była największa w I roku po zastosowaniu osadów ściekowych. Wyjątek stanowił chrom i cynk, których największe ilości stwierdzono w II roku uprawy tej rośliny.

3. Ilość metali ciężkich pobranych przez wierzbę ogółem w ciągu 3 lat doświadczenia największa była najczęściej na obiektach nawożonych najwyższą dawką osadu ściekowego ( $200 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ ). Najwięcej metali ciężkich zgromadziła wierzba uprawiana w II roku badań, natomiast najmniej w I roku po założeniu plantacji.

## PIŚMIENNICTWO

- Baran S., Wójcikowska-Kapusta A., Jaworska B. 2001. Przydatność wikliny do sanitacji gleb zanieczyszczonych miedzią i ołowiem. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 477, 187-193.
- Ericsson K., Rosenqvist H., Ganko E., Pisarek M., Nilsson L. 2006. An agro-economic analysis of willow cultivation in Poland. *Biomass and Bioenergy*, 30, 16-27.
- Greger M., Landberg T. 1999. Use of willow in phytoextraction. *International Journal of Phytoremediation*, 1, 115-123.
- Kalembasa D., Malinowska E., Siewniak M. 2006. Wpływ nawożenia na plonowanie wybranych gatunków wierzby krzewiastej. *Acta Agrofizyka*, 8(1), 119-126.
- Kalembasa D., Szczukowski S., Cichuta R., Wysokiński A. 2006. Plon biomasy i zawartość azotu w wierzbie (*Salix viminalis*) przy zróżnicowanym nawożeniu azotowym. *Pam. Puł.*, 142, 171-178.
- Kalembasa S., Symanowicz B., Kalembasa D., Malinowska E. 2003. Możliwości pozyskiwania i przeróbki biomasy z roślin szybko rosnących (energetycznych). In: *Nowe spojrzenie na osady ściekowe – odnawialne źródła energii. Cz.II. Wyd. Polit. Częstoch.*, 358-364.
- Kaniuczak J., Błażej J., Gąsior J. 2000. Zawartość pierwiastków śladowych w różnych klonach wikliny. Cz. I. Zawartość żelaza, manganu, miedzi i cynku. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 472, 379-385.
- Kopeć M., Gonddek K. 2002. Wykorzystanie osadów garbarskich w uprawie wikliny. *Acta Agrofizyka*, 73, 167-173.
- Lazdina D., Lazdins A., Kariņš Z., Kaposts V. 2007. Effect of sewage sludge fertilization in short-rotation willow plantations. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 15, 2, 105-111.
- Máthé-Gáspár G., Anton A. 2005. Study of phytoremediation by use of willow and rape. *Acta Biologica Szegediensis*, 49(1-2), 73-74.
- Michałowski M., Gołaś J. 2001. Zawartość wybranych metali ciężkich w organach wierzby jako wskaźnik wykorzystania jej w utylizacji osadów ściekowych. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 477, 411-419.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie komunalnych osadów ściekowych z dnia 1 sierpnia 2002 roku. *Dz. U. nr 134, poz. 1140*
- Stolarski M. 2003. Wszystko o wierzbie. *Czysta Energia*, 10, 32-33.
- Stolarski M., Szczukowski S., Tworkowski J. 2007. Ocena produktywności wierzby (*Salix spp.*) pozyskiwanej w krótkich rotacjach w dolinie dolnej Wisły. *Biomasa dla elektroenergetyki i ciepłownictwa*, Warszawa, 93-99.
- Szczukowski S., Tworkowski J., Stolarski M., Grzelczyk M. 2005a. Produktywność wierzby krzewiastej pozyskiwanych w jednorocznych cyklach zbioru. *Acta Sci. Pol., Agricultura*, 4(1), 141-151.
- Szczukowski S., Tworkowski J., Stolarski M., Grzelczyk M. 2005b. Produktywność roślin wierzby (*Salix spp.*) i charakterystyka pozyskiwanej biomasy jako paliwa. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 507, 495-503.

CONTENT OF HEAVY METALS IN WILLOW (*SALIX VIMINALIS*)  
AT DIVERSE DOSES OF NITROGEN

*Stanisław Kalembasa, Andrzej Wysokiński, Rafał Cichuta*

Department of Soil Science and Plant Nutrition, University of Podlasie  
ul. Prusa 14, 08-110 Siedlce  
email: kalembasa@ap.siedlce.pl

**Abstract.** The influence of different doses of nitrogen applied in waste activated sludge and mineral fertilisers on the content and uptake of heavy metals by willow (*Salix viminalis*) was investigated. In the field experiment the willow was cultivated on objects fertilised with waste activated sludge which contained nitrogen in the following doses in  $\text{kg ha}^{-1}$ : 100, 150 and 200. The study included also a treatment fertilised with urea at  $150 \text{ kg N ha}^{-1}$ , phosphorus and potassium, at such doses that the ratio N:P:K was equal 1:0.35:1. The content of determined heavy metals in willow branches cultivated on the objects fertilised with waste activated sludge was the highest compared with treatments with the highest doses of nitrogen. Only the content of nickel in investigated biomass of willow stems was the highest when harvested from the treatment with  $150 \text{ kg N ha}^{-1}$ . The content of determined heavy metals in the biomass of willow branches fertilised with urea was similar to the content of those heavy metals in willow branches harvested from the objects fertilised with the highest doses of nitrogen in waste activated sludge. The uptake of heavy metals by the biomass of willow usually was the highest from objects fertilised with the highest doses of waste activated sludge. The highest amount of heavy metals uptake by the biomass of willow was recorded in the second year of cultivation and the lowest in the first year of cultivation.

**Key words:** waste activated sludge, nitrogen, willow, heavy metals