

*Ryszard Twarowski, Tomasz Gendolla, Ewa Liana,  
Stanisław Kaczmarski, Katarzyna Wostek*

Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Oddział we Wrocławiu

## DEPOZYCJA ZWIĄZKÓW KWASOTWÓRCZYCH Z OPADEM ATMOSFERYCZNYM NA TERENY DORZECZA ŚRODKOWEJ ODRY I ICH ODDZIAŁYWANIE NA EKOSYSTEMY LEŚNE

### DEPOSITION OF ACID PRECURSORS INCOMING WITH ATMOSPHERIC PRECIPITATION ON AREA OF MIDDLE Odra RIVER CATCHMENT AND ITS INFLUENCE ON FOREST ECOSYSTEMS

**Słowa kluczowe:** opad atmosferyczny, kwaśna depozycja, ładunki krytyczne, ekosystemy.

**Streszczenie:** W pracy przedstawiono i omówiono wielkość i trendy zmian wnoszonych z opadem atmosferycznym związków kwasotwórczych siarki i azotu na tereny dorzecza środkowej Odry obejmującej obszar od ujścia Nysy Kłodzkiej do ujścia Nysy Łużyckiej. Oceny dokonano na podstawie danych pomiarowych z lat 1994-2002 przeprowadzonych przez IMGW we Wrocławiu w ramach badań monitoringowych chemizmu opadów atmosferycznych na tym obszarze [Twarowski i in., 1994-2002]. Wyniki badań zestawiono w tabelach oraz zobrazowano na wykresach i rysunkach. Podano wielkości charakterystyczne stężeń w opadach i deponowanych ładunków siarczanów, azotynów i azotanów oraz jonów wodorowych w poszczególnych latach, a także odczyn pH opadów. Depozycję siarczanów, azotynów i azotanów porównano do wielkości dopuszczalnych (ładunków krytycznych siarki i azotu) dla gleb terenów zalesionych tj. największej depozycji tych związków niewywołującej zmian chemicznych prowadzących do długotrwałych i szkodliwych skutków dla struktury i funkcjonowania ekosystemów [Mill, 2002]. Na podstawie danych ze wszystkich stacji monitoringowych, wykorzystując metodę przy użyciu komputerowego systemu informacji przestrzennej, przedstawiono graficznie rozkład przestrzenny ilości wprowadzanych siarczanów, azotynów i azotanów oraz jonów wodorowych w 2002 roku na obszar dorzecza środkowej Odry, uwidoczniając rejon o podwyższonych ładunkach oraz zróżnicowanie w powierzchniowym obciążeniu tego obszaru, jak również rozkład sumy opadów

**Key words:** Atmospheric precipitation, acid deposition, critical loads, ecosystems.

**Summary:** The purpose of the study was to bring forward and coverage the problem of estimation of amounts and trends of change in acidic loads (compounds of sulphur and nitrogen) incoming with atmospheric precipitation to

the ground. The measured loads were deposited on area of middle Odra River catchment – exactly on area between the mouth of Nysa Kłodzka and mouth of Nysa Łużycka. The assessment was done on the base of data sequences from above area in years 1994-2002. Data were gathered by IMGW Branch of Wrocław in frame of Study aimed on monitoring of the chemical pollution in atmospheric precipitation [Twarowski et. all, 1994-2002]. The results of monitoring was set down in tables and illustrated on diagrams and figures. Among the results are shown the characteristic amounts of concentration in the atmospheric precipitation and the deposited loads of sulfates, nitrites, nitrates and free  $H^+$  ions, also pH values for successive years of observations. The measured deposited loads of sulfates, nitrites and nitrates were compared to critical loads for soils on afforested areas. According to Mill [2002] the critical loads are the upper level of deposited chemical compounds those do not make damage in ecosystems. Up of critical loads deposition of pollutants bring the long lasting harmful effect on the structure and overall conditions of prosperity the different ecosystems. There have been used all gathered data and methods of GIS System for showing on the computer screen graphical pattern of the spatial distribution of all mentioned compounds of deposition loads in year 2002. Due of that method one can realize: a) where are the regions with higher loads, b) the mosaic structure of chemical pollutants burden and spatial distribution of sums of precipitation.

## WSTĘP

Spośród licznych substancji transportowanych w atmosferze, wyemitowanych w wyniku różnych procesów, zarówno naturalnych, jak i antropogenicznych, szczególne miejsce zajmują związki kwasotwórcze, determinujące kwasowość opadów. Są to głównie kwasotwórcze związki siarki i azotu – dwutlenek siarki i tlenki azotu, które ulegają reakcjom chemicznym z wodą znajdującą się w atmosferze, tworząc mocne kwasy, odpowiednio kwas siarkowy i azotowy, agresywnie oddziałujące na środowisko. Kwaśne opady atmosferyczne mają negatywny wpływ na rośliny, glebę, biosferę, obiekty materialne itp. [Kulisz, 1988]. Kwaśna depozycja może powodować zakwaszenie wód powierzchniowych i przez to wymieranie ryb i roślinności wodnej, zakwaszenie gleb prowadzi do spadku ich żyzności, uwalniania toksycznych metali, uszkodzeń lasów i innych ekosystemów. Może powodować także uszkodzenia budowli i konstrukcji, w tym pomników, zabytków i innych dóbr kultury.

Oddziaływanie kwaśnych opadów ulega ciągłym zmianom zarówno ilościowym, jak i jakościowym. W ostatnich kilkunastu latach zarówno w Polsce, jak i w Europie bardzo wyraźnie zmalała emisja kwasotwórczych związków. Wyraźnie zmniejszyła się też kwasowość opadów [Degórska i in., 2003]. Niemniej kwaśne deszcze stanowią nadal wysoki odsetek opadów.

Wrocławski Oddział IMGW prowadzi badania monitoringowe chemizmu opadów atmosferycznych na obszarze Polski południowo-zachodniej, obejmującym tereny dorzecza środkowej Odry. Podstawowym celem tych badań jest stała kontrola i ocena stanu zanieczyszczenia opadów w tym makroregionie, a w szczególności: określenie stężeń i ładunków zanieczyszczeń zawartych w opadach z podaniem zmienności ich



powierzchniowego obciążenia oraz wpływu warunków meteorologicznych na ich wielkość.

Sieć stacji monitoringowych (rys. 1) oparta jest na bazie istniejących w terenie stacji synoptycznych, klimatologicznych i opadowych IMGW, na których prowadzone są obserwacje i pomiary parametrów meteorologicznych mających istotny wpływ na chemizm opadów atmosferycznych w danym miejscu i czasie. Stacje te zostały wytypowane na podstawie danych klimatycznych, które kwalifikują je jako charakterystyczne dla oceny obszarowego rozkładu zanieczyszczeń, a tym samym dostarczają danych pozwalających na wnioskowanie o zagrożeniu wnoszonymi zanieczyszczeniami nie tylko lokalnie, ale również na większych obszarach.



Rys. 1. Rozmieszczenie stacji pomiarowo-kontrolnych monitoringu chemizmu opadów atmosferycznych na obszarze dorzecza środkowej Odry

Na wszystkich stacjach opady atmosferyczne zbierane są w sposób ciągły i analizowane w cyklach miesięcznych. Zbierane są próbki opadów atmosferycznych całkowitych (bulk), tj. opadów mokrych wraz z suchą sedymentacją. Równoległe z poborem próbek opadów prowadzone są pomiary i obserwacje wysokości i rodzaju opadów, kierunków i prędkości wiatru oraz temperatury powietrza.

Miesięczne próbki opadu całkowitego analizowane są na zawartość związków kwasotwórczych, biogennych i metali (w tym metali ciężkich). Kontrolowany też jest odczyn (pH) opadów i przewodność elektryczna właściwa oraz oznaczana sucha pozostałość, stanowiąca sumę zawartych w opadzie nielotnych substancji organicznych i nieorganicznych.

Wyniki tych badań stanowiły podstawową bazę danych o koncentracji w opadach atmosferycznych kwasotwórczych związków siarki i azotu oraz kwasowości opadów i ich depozycji na tereny dorzecza środkowej Odry, będących przedmiotem niniejszej pracy.

## ZAKRES I METODYKA

Analizie poddano wielkości związków kwasotwórczych siarki i azotu tj. siarczanów, azotynów i azotanów, deponowanych z opadem atmosferycznym na obszarze dorzecza środkowej Odry w okresie lat 1994-2002 oraz jonów wodorowych i odczynu pH opadów. W okresie tym opady atmosferyczne do badań pobierano na 34 stacjach monitoringowych położonych na obszarze dorzecza środkowej Odry (rys. 1); w tym: w roku 1994 na 28 stacjach (bez stacji w Bolesławowie, Głogowie, Ścinawie, Tomaszowie Bolesławieckim, Szczawnie Zdroju i Jaworze); w roku 1995 na 32 stacjach (bez stacji w Bolesławowie i Szczawnie Zdroju); w latach 1996-1998 na 31 stacjach (bez stacji w Otmuchowie, Bolesławowie i Szczawnie Zdroju); w latach 1999-2000 na 33 stacjach (bez stacji w Otmuchowie); w latach 2001-2002 na 27 stacjach (bez stacji w Otmuchowie, Żelechowie, Kaniowie, Łęknicy i Żaganiu).

Opady zbierano za pomocą kolektorów stacjonarnych umieszczonych w ogródkach meteorologicznych stacji na wysokości 1 metra nad poziomem gruntu. Wysokość opadów mierzono za pomocą deszczomierza Hellmana – standardowego urządzenia stosowanego w sieci stacji IMGW. Analizy siarczanów, azotynów i azotanów wykonywano chromatografem jonowym Dionex 120 wg instrukcji aparatu; odczyn pH opadów – aparatem firmy WTW. Masę substancji wprowadzanej przez opady atmosferyczne do podłoża na danej powierzchni w określonym czasie, zależną wprost proporcjonalnie od wielkości opadu i koncentracji w nim danej substancji, obliczano za pomocą poniższego wzoru:

$$L_c = \frac{c \cdot h}{100}$$

$L_c$  – ładunek jednostkowy depozycji danej substancji [w kg/ha·m-c],  
 $c$  – stężenie danej substancji w miesięcznej próbce opadów [w mg/dm<sup>3</sup>]  
 $h$  – suma miesięczna wysokości opadów [mm].

Stężenie jonów wodorowych w opadzie obliczano z wartości zmierzonej odczynu pH  $[H^+] = 10^{-pH} \cdot 1000$  [w mg  $H^+/dm^3$ ], a jego depozycje (Lc) wg wzoru jak wyżej.

## WYNIKI I Dyskusja

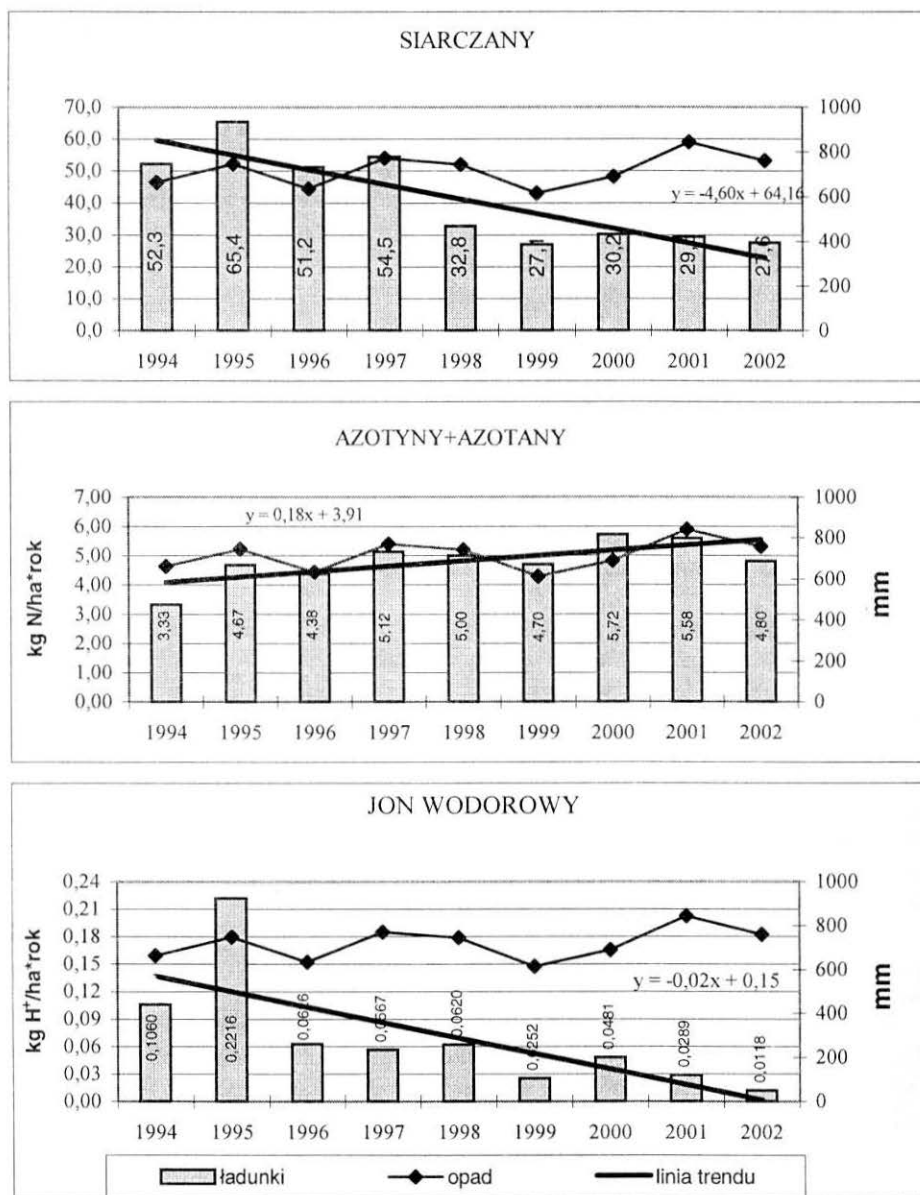
W okresie lat 1994-2002 na obszarze dorzecza środkowej Odry przeprowadzono badania 3276 miesięcznych próbek opadów atmosferycznych. Charakterystyczne (minimalne, maksymalne i średnie) wartości stężeń siarczanów, azotynów i azotanów oraz jonów wodorowych i odczynu pH, jakie wystąpiły w próbkach miesięcznych opadów w omawianym okresie badań na obszarze dorzecza środkowej Odry, podano w tabeli 1. W tabeli tej podano również wielkości charakterystyczne miesięcznie wnoszonych wraz opadami ładunków tych kwasotwórczych substancji oraz liczbę pomiarów próbek średniomiesięcznych opadów w poszczególnych latach. Diagramy wielkości rocznych ładunków jednostkowych (kg/ha rok) siarczanów, azotynów i azotanów oraz jonów wodorowych wniesionych z opadami w omawianych latach na obszar zlewni środkowej Odry oraz średnie roczne sumy wysokości opadów i linie trendu deponowanych ładunków przedstawiono na rys. 2, a na rys. 3 przestrzenne zróżnicowanie na obszarze dorzecza w 2002 roku depozycji tych substancji i wielkość opadów.

Zakresy stężeń analizowanych związków (tab. 1) wskazują na duże zróżnicowanie ich koncentracji w poszczególnych latach. Wyraźnie zmalały w opadach stężenia siarczanów i wolnych jonów wodorowych. W porównaniu 2002 roku do roku 1994 średnie roczne wartości stężeń siarczanów zmalały o ponad połowę (o 57,4%). Stężenia wolnych jonów wodorowych, będących miarą kwasowości opadów, zmalały ponad siedmiokrotnie (od 0,0283 mg $H^+/dm^3$  w 1994 roku do 0,0022 mg $H^+/dm^3$  w 2002 roku). Średni odczyn pH opadów w poszczególnych latach wzrastał. W 1994 roku wynosił 4,91, a w roku 2002 kształtował się na poziomie 6,08 pH. W przypadku azotynów i azotanów nie ma istotnych zmian ich koncentracji, niemniej w porównaniu do 1994 roku średnie roczne stężenia tych substancji w opadach rosną.

Wnoszone wraz z opadami ładunki siarczanów i wolnych jonów wodorowych wykazują trend malejący, natomiast depozycja do podłoża azotynów i azotanów w poszczególnych latach ma tendencję rosnącą (rys. 2; tab. 1).

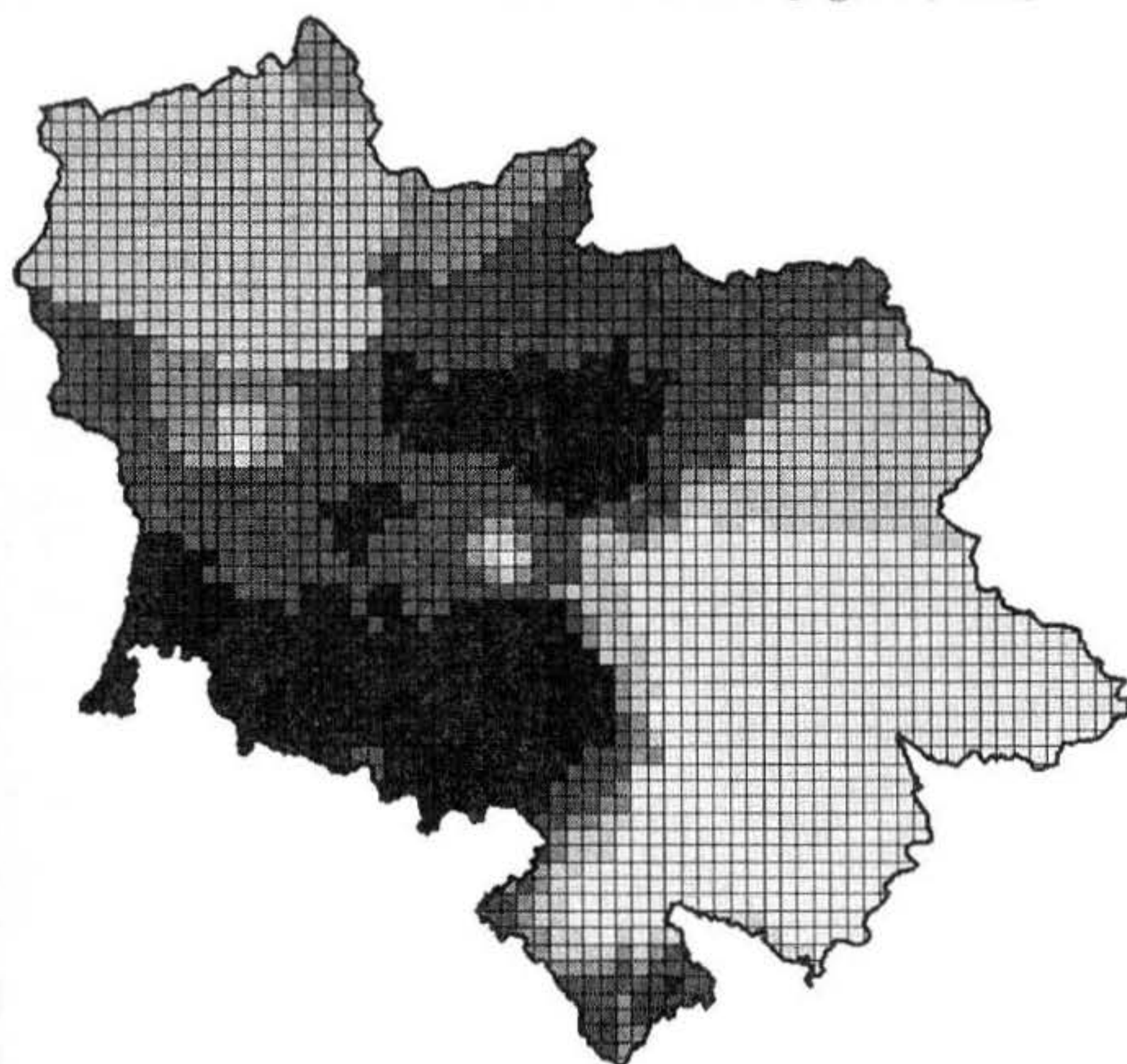
Należy stwierdzić, że roczne wielkości ładunków jednostkowych nie zawsze odpowiadają relacji wielkość opadu – wielkość ładunku. W niektórych przypadkach wiąże się to z większym wpływem koncentracji danej substancji w opadzie niż z wielkością opadów.



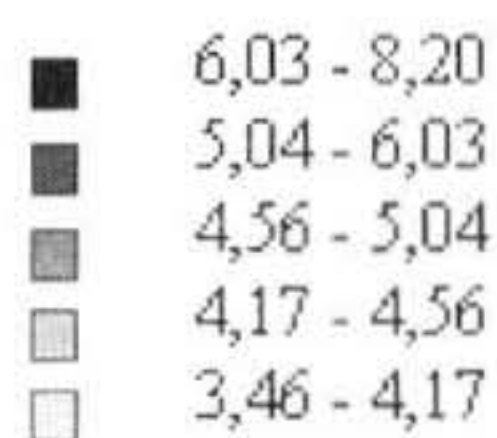
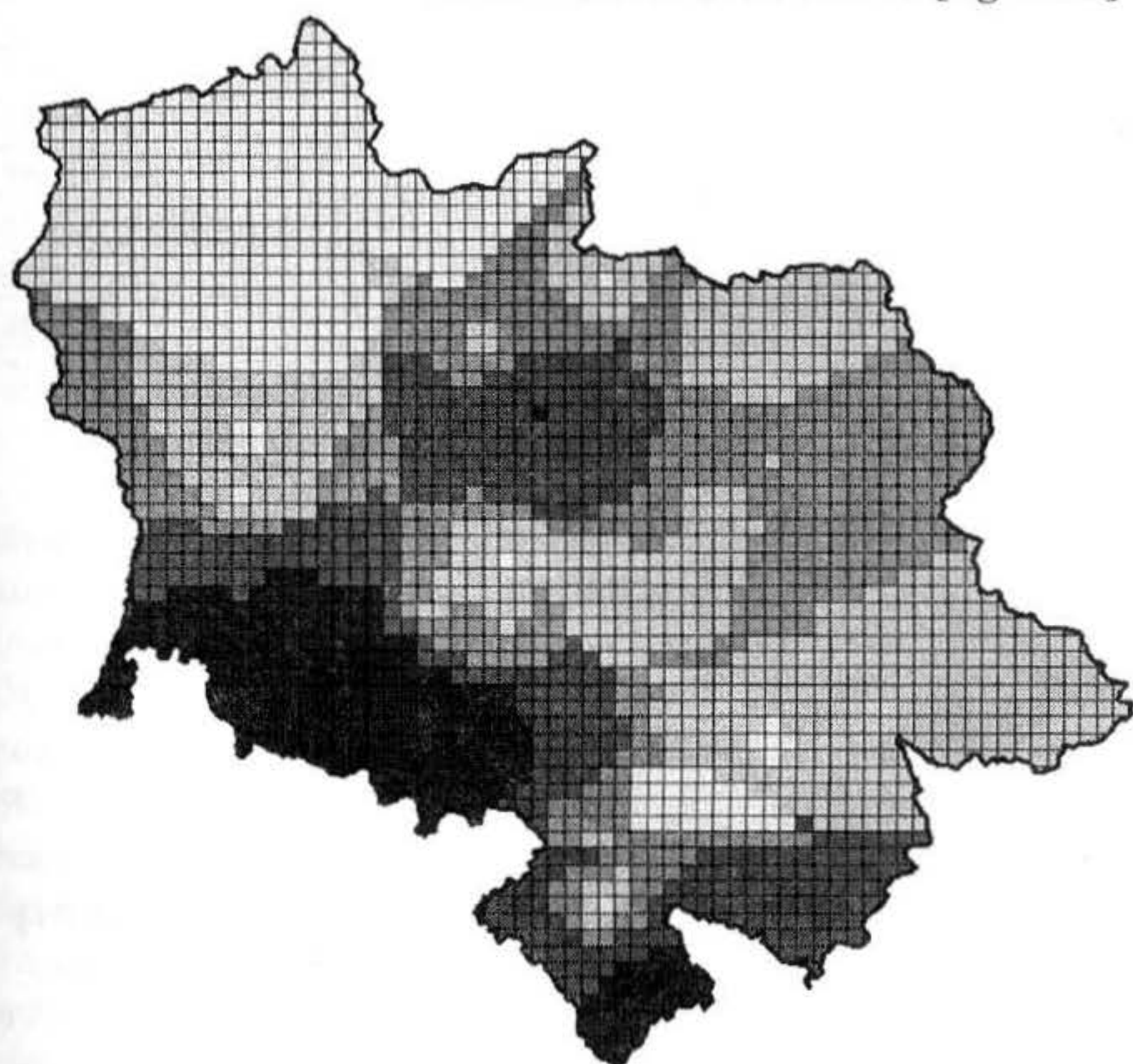


Rys. 2. Ładunki jednostkowe (kg/ha) siarczanów, azotynów i azotanów oraz jonów wodorowych wniesione z opadami w latach 1994-2002 na obszar zlewni środkowej Odry oraz średnie roczne sumy wysokości opadów i linie trendu deponowanych ładunków

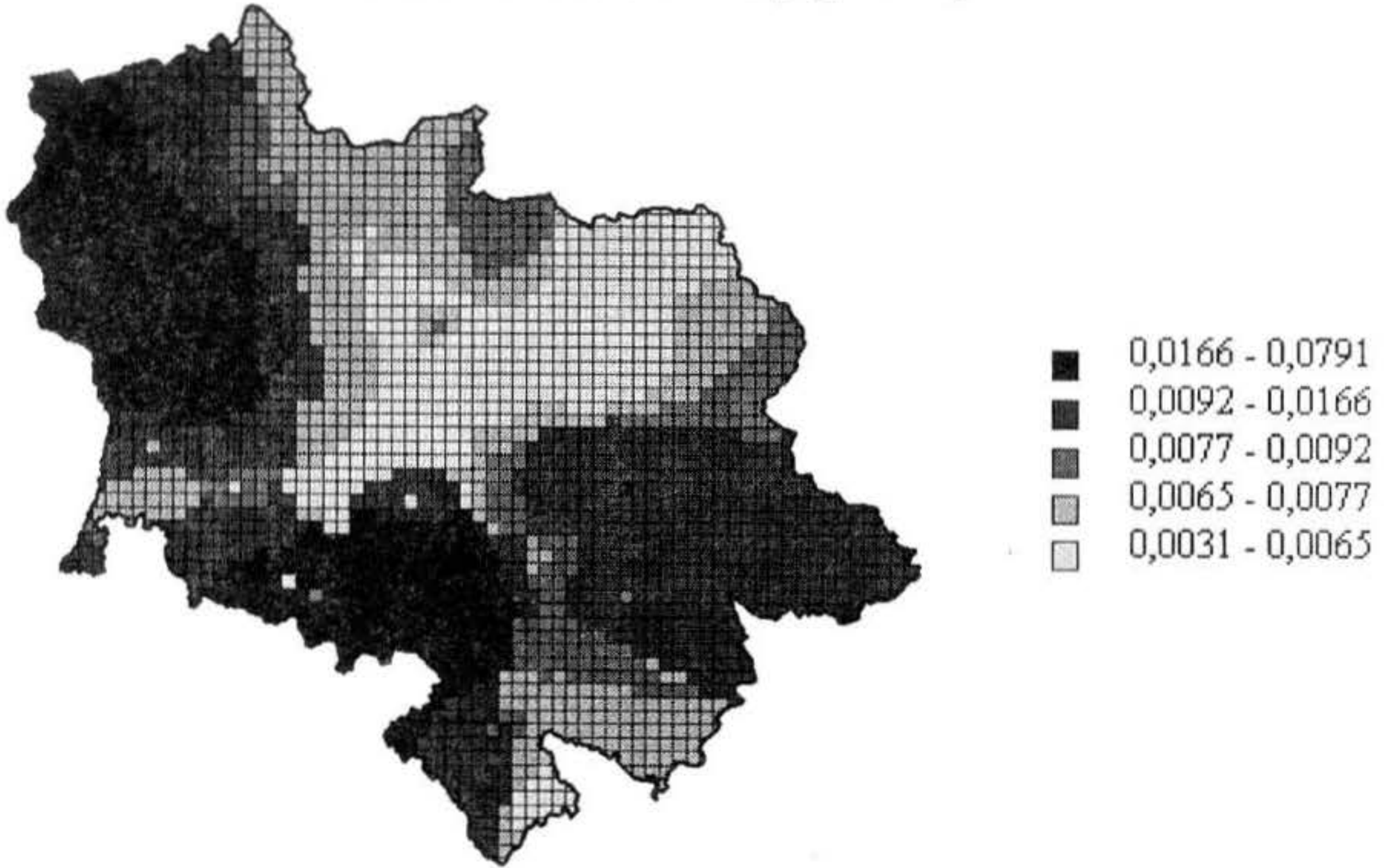
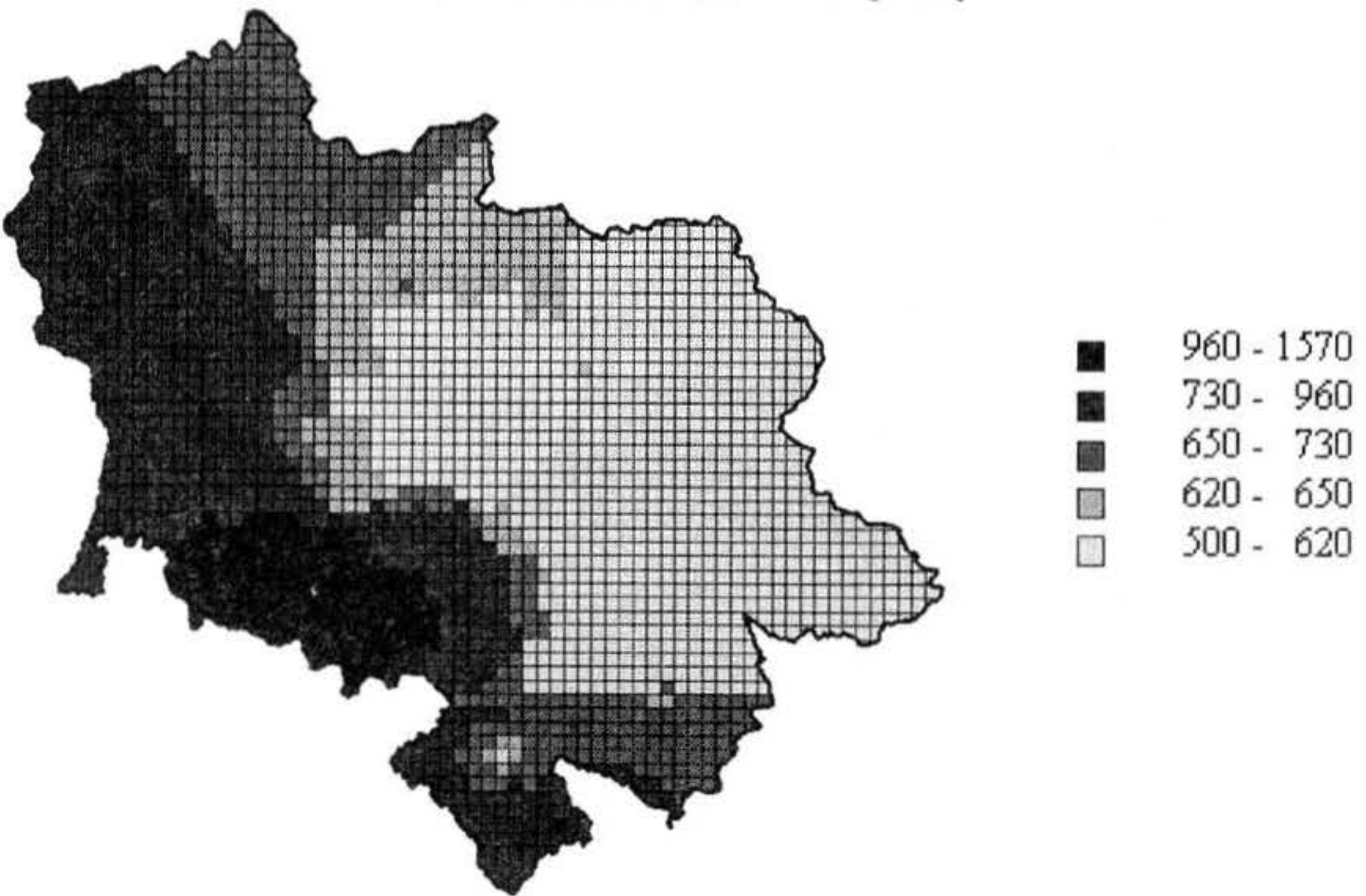
SIARCZANY [kg SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>/ha]



AZOTYNY+AZOTANY [kg N/ha]





**JONY WODOROWE [kg H<sup>+</sup>/ha]****WYSOKOŚĆ OPADÓW [mm]**

Rys. 3. Zmienność powierzchniowego obciążenia na obszarze dorzecza środkowej Odry w 2002 r. ładunkami siarczanów, azotynów i azotanów oraz jonów wodorowych i przestrzenny rozkład sumy rocznej opadów



**Tab. 1. Średnie, minimalne i maksymalne wartości stężeń siarczanów, azotynów i azotanów oraz jonów wodorowych (w mg/dm<sup>3</sup>) i odczynu pH w średniomiesięcznych próbkach opadów w dorzeczu środkowej Odry w latach 1994-2002 oraz wielkości miesięczne ich ładunków (kg/ha) wniesionych wraz z opadami i liczba analizowanych średniomiesięcznych próbek opadów w poszczególnych latach**

Rok	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>						N(NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> +NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )						Liczba próbek
	stężenia mg/dm <sup>3</sup>			ładunki kg/ha			stężenia mg/dm <sup>3</sup>			ładunki kg/ha			
	min	max	śr	min	max	śr	min	max	śr	min	max	śr	
1994	3,6	24,2	11,0	1,2	16,1	5,6	0,12	2,85	0,74	0,03	1,1	0,36	336
1995	2,3	49,4	10,6	0,4	69,3	5,6	0,06	4,63	0,85	0,05	2,17	0,39	384
1996	2,6	56,4	11,6	0,6	15,5	4,4	0,10	4,74	1,03	0,02	2,86	0,39	372
1997	3,1	53,1	9,3	0,6	29,1	4,5	0,10	3,30	0,92	0,05	2,46	0,40	372
1998	1,4	18,7	5,2	0,7	7,8	2,7	0,27	2,51	0,77	0,07	1,92	0,40	372
1999	1,2	12,2	5,2	0,7	7,9	2,2	0,18	4,05	0,96	0,12	1,30	0,40	396
2000	1,54	25,72	5,01	0,6	14,3	2,2	0,28	6,39	0,92	0,12	5,31	0,43	396
2001	1,8	25,59	4,55	0,5	7,5	2,6	0,24	3,14	0,84	0,1	2,26	0,49	324
2002	1,12	12,90	4,69	0,6	7,49	2,4	0,16	3,36	0,83	0,10	2,04	0,43	324

Rok	H <sup>+</sup>						pH			Liczba próbek
	stężenia mg/dm <sup>3</sup>			ładunki kg/ha			min	max	śr	
	min	max	śr	min	max	śr	min	max	śr	
1994	0,0003	0,1950	0,0283	0,0001	0,2041	0,0177	3,71	6,62	4,91	336
1995	0,000	0,1905	0,0195	0,00001	0,2130	0,0120	3,72	6,92	5,24	384
1996	0,00004	0,1995	0,0183	0,00001	0,1291	0,0083	3,70	7,43	5,42	372
1997	0,00003	0,3162	0,0127	0,00001	0,1040	0,0064	3,50	7,51	5,21	372
1998	0,0001	0,1230	0,0083	0,00002	0,1412	0,0063	3,91	7,14	5,32	372
1999	0,0001	0,1318	0,0059	0,00001	0,0733	0,0034	3,88	6,95	5,76	396
2000	0,00002	0,0813	0,0043	0,000001	0,0806	0,0031	4,09	7,81	5,45	396
2001	0,0001	0,0646	0,0048	0,00002	0,0981	0,0031	4,19	7,07	5,79	324
2002	0,0001	0,0339	0,0022	0,00002	0,0314	0,0012	4,47	7,11	6,08	324

W roku 2002, ostatnim roku analizowanego dziewięcioletniego okresu badań, jak wykazała szczegółowa analiza rozkładu przestrzennego wykonana za pomocą komputerowego systemu informacji przestrzennej GIS (rys. 3), na obszar dorzecza środkowej Odry opady atmosferyczne wniosły: 97 144 ton siarczanów, 16 895 ton azotu (N NO<sub>2</sub><sup>-</sup>+NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) i 41,53 tony wolnych jonów wodorowych. Średnio na jeden hektar powierzchni w 2002 roku opady wniosły na obszarze dorzecza – siarczanów 27,60 kg SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>, azotynów i azotanów 4,80 kg N a wolnych jonów wodorowych 11,8 g. Najmniejsze obciążenie powierzchniowe depozycją tych substancji wystąpiło: siarczany: 21,42 kg SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>/ha rok w powiecie strzelińskim; azotyny i azotany: 3,84 kg N/ha rok w powiecie zielonogórskim oraz wolne jony wodorowe w powiecie wołowskim 4,5 g H<sup>+</sup>/ha rok. Najbardziej obciążone zostały następujące obszary: siarczanami (37,9 kg SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>/ha rok) i wolnymi jonami wodorowymi (3,39 g H<sup>+</sup>/ha rok) powiat wałbrzyski, a azotynami i azotanami (6,99 kg N/ha rok) powiat lwówecki.



Na obszarze dorzecza środkowej Odry lasy zajmują ponad 31% terenów [Dziubek i in., 1993]. O kondycji i stanie zdrowotnym lasów decydują przede wszystkim warunki glebowe, w tym poziom zakwaszenia ekosystemów glebowo-leśnych. Na początku lat 90. wprowadzono koncepcję ładunków krytycznych, stanowiących wielkości depozycji związków kwasotwórczych ze skutkami w środowisku [Mill i in., 1994]. Ładunek krytyczny związków kwaśnych wprowadzanych z atmosfery do poszczególnych elementów środowiska to największa depozycja tych związków nie wywołująca zmian chemicznych prowadzących do długotrwałych, szkodliwych skutków dla struktury i funkcjonowania ekosystemów. Według aktualnych danych opublikowanych w pracy [Mill, 2002] krytyczne ładunki zakwaszenia siarką i azotem dla gleb ekosystemów leśnych na obszarze dorzecza środkowej Odry wynoszą średnio: 1118 eq/ha rok dla siarki i 3128 eq/ha rok dla azotu; przy zróżnicowaniu, w zależności od rodzaju gleby i jej wrażliwości na depozycję kwaśną, od 289 eq/ha rok (w powiecie kłodzkim) do 2488 eq/ha rok (w powiecie zielonogórskim) depozycji siarki i od 1718 eq/ha rok (w powiecie kłodzkim) do 6639 eq/ha rok (w powiecie bolesławieckim) depozycji azotu. W przeliczeniu na kilogramy siarczanów stanowi to średnio  $57,504 \text{ kg SO}_4^{-2} / \text{ha rok}$ , min.  $13,872 \text{ kg SO}_4^{-2} / \text{ha rok}$ , maks.  $119,424 \text{ kg SO}_4^{-2} / \text{ha rok}$ , a na kilogramy azotu: średnio –  $43,792 \text{ kg N} / \text{ha rok}$ , min.  $24,052 \text{ kg N} / \text{ha rok}$ , maks.  $92,946 \text{ kg N} / \text{ha rok}$ . Porównanie średnich wielkości siarczanów i azotynów + azotanów wnoszonych wraz z opadami w 2002 roku do krytycznych ładunków siarki i azotu dla gleb leśnych obszaru dorzecza środkowej Odry nie wskazuje, że depozycja ta przekracza wartości dopuszczalne.

Średni ładunek siarki siarczanowej zdeponowany w 2002 roku na obszarze dorzecza stanowi tylko ok. 48% dopuszczalnej depozycji, a średnia depozycja azotu z azotynów i azotanów jest nawet ok. dziewięciokrotnie mniejsza niż dopuszczalna.

Inaczej kształtuje się to jednak w przypadku porównania do mniejszych obszarów. Porównując depozycje siarki i azotu na terenach poszczególnych powiatów w dorzeczu środkowej Odry do wartości dopuszczalnych, po analizie map krytycznych ładunków zakwaszenia siarką i azotem obszarów leśnych Polski stwierdzono, że ładunki siarki siarczanowej wnoszone z opadami atmosferycznymi w 2002 roku na tereny 7 z 54 powiatów położonych w dorzeczu środkowej Odry przekraczają wielkości dopuszczalne, tym samym stanowiąc potencjalne zagrożenie dla ekosystemów leśnych na tych terenach. Przekroczenia te nastąpiły w powiatach: kłodzkim, nyskim, wałbrzyskim, kamiennogórskim, rawickim i lubińskim. Nie dochodzi do przekroczeń ładunków azotu z deponowanych z atmosfery azotynów i azotanów. Ładunki krytyczne azotu dla terenów leśnych w poszczególnych powiatach dorzecza środkowej Odry są wyższe niż ich depozycja.

## PODSUMOWANIE

Przedstawione i omówione dane o koncentracji w opadach atmosferycznych na obszarze dorzecza środkowej Odry siarczanów, azotynów i azotanów (najważniejszych jonów wpływających na zakwaszenie opadów) i ich depozycji oraz jonów wodorowych (będących miarą kwasowości opadów) i danych pomiarowych odczynu pH opadów,



uzyskane w ramach badań monitoringowych na tym obszarze w latach 1994-2002, dają podstawę do sformułowania następujących wniosków:

- Stężenia siarczanów w opadach atmosferycznych na obszarze dorzecza środkowej Odry wykazują wyraźną tendencję malejącą. Wyraźnie też w ostatnich latach zmniejszyła się, nawet kilkakrotnie, koncentracja wolnych jonów wodorowych i kwasowość opadów. Wzrósł odczyn pH opadów.
- Stężenia azotynów i azotanów w opadach, przy mało istotnych zmianach w poszczególnych latach, wykazują tendencję wzrostową.
- Depozycja analizowanych kwasotwórczych związków siarki i azotu charakteryzuje się podobną zmiennością jak ich stężenia w opadach. Wnoszone wraz z opadami ładunki siarczanów i wolnych jonów wodorowych w poszczególnych latach maleją, a ładunki azotynów i azotanów wykazują tendencję rosnącą.
- Porównanie deponowanych w roku 2002 (ostatnim roku analizowanego wielolecia) ładunków siarczanów i sumy azotynów + azotanów do ładunków krytycznych siarki i azotu dla ekosystemów leśnych położonych na obszarze dorzecza środkowej Odry tj. najwyższej dopuszczalnej depozycji tych substancji z atmosfery na gleby leśne nie wywołującej szkodliwych skutków dla ich struktury i funkcjonowania, wykazuje, że:
  - roczna depozycja siarczanów wnoszona wraz z opadami (śr. 27,60, min. 21,42, maks. 37,93 kg  $\text{SO}_4^{2-}$ /ha rok) na większości terenów dorzecza nie przekracza wartości dopuszczalnej (ładunek krytyczny: śr. 57,504, min. 13,872, maks. 119,424 kg  $\text{SO}_4^{2-}$ /ha rok). Na 54 powiaty położone w dorzeczu środkowej Odry tylko na terenach 7 powiatów, zawierających gleby o wysokiej wrażliwości na depozycję kwaśną, stwierdzono przekroczenia depozycji siarczanów.
  - roczna depozycja azotynów + azotanów (śr. 4,80, min. 3,84, maks. 6,99 kg N/ha·rok) w porównaniu do wartości krytycznych azotu (śr. 43,792, min. 24,052, maks. 92,946 kg N/ha rok) jest kilkakrotnie mniejsza i nie wpływa negatywnie na ekosystemy leśne dorzecza.

W pracy dokonano próby oceny wpływu depozycji kwaśnej z opadów atmosferycznych na stan środowiska ekosystemów glebowo-leśnych na obszarze dorzecza środkowej Odry na podstawie danych analitycznych próbek średniomiesięcznych opadów. Przedstawione dane o koncentracji w opadach siarczanów, azotynów i azotanów oraz jonów wodorowych i odczynu pH charakteryzują tylko średnią ich zawartość ze wszystkich opadów w danym miesiącu. Nie odzwierciedlają stopnia zanieczyszczenia pojedynczego opadu i jego kwaśnego odczynu (kwaśne deszcze), często o bardzo agresywnym oddziaływaniu na środowisko. Niemniej przedstawione dane dały możliwość obliczenia sumy rocznej siarczanów, azotynów i azotanów oraz jonów wodorowych wnoszonych z atmosfery wraz z opadami i porównanie tej kwaśnej depozycji do granicznej wartości ładunków siarki i azotu (ładunków krytycznych). Przedstawione wyniki świadczą wyraźnie o małym i zmniejszającym się wpływie depozycji kwaśnej z atmosfery na ekosystemy glebowo-leśne dorzecza środkowej Odry.

## LITERATURA

- DEGÓRSKA A., PRZYBYLSKA G., TWAROWSKI R., DYGAŚ-CIOŁKOWSKA L., 2003: Zakwaszenie [w:] Raport. Stan środowiska w Polsce w latach 1996-2001, Bibl. Monitor. Środ., Inspekcja Ochrony Środowiska, Warszawa, 69-77.
- DZIUBEK A., KOWAL A., NALBERCZYŃSKI A., SZYMAŃSKA M., 1993: Gospodarka zasobami wodnymi dorzecza górnej i środkowej Odry, Wyd. Wrocławskie Oficyna Nauczycielska, Wrocław.
- KULISZ J., 1988: Kwaśne deszcze i ich wpływ na środowiska, Wydawnictwo WSiP, Warszawa.
- MILL W., 2002, Obciążenie ekosystemów leśnych Polski związkami siarki i azotu wg koncepcji ładunków krytycznych, Wydawnictwo Instytutu Ochrony Środowiska, Warszawa.
- MILL W., WÓJCIK A., RZYCHOŃ D., 1994: Mapy krytycznych ładunków kwaśnych dla ekosystemów glebowo-leśnych Polski (wg metodyki EKG/ONZ), Biblioteka Monitoringu Środowiska i PIOŚ, Warszawa.
- TWAROWSKI R., GENDOLLA T., SIENKIEWICZ R., LIANA E., KACZMARSKI S., WOSTEK K., 1994-2002: Monitoring chemizmu opadów atmosferycznych na obszarze dorzecza środkowej Odry. Raporty roczne. Wrocław IMGW.