

ALEKSANDER W. SOKOŁOWSKI

Wpływ na roślinność leśną zanieczyszczeń powietrza emitowanych przez Zakłady Azotowe w Puławach¹

Влияние загрязнений воздуха на лесную растительность извергаемых заводом азотных удобрений в Пулавах

The impact of air pollutions emitted by the nitrogen plant at Puławy on forest vegetation

Zakłady Azotowe w Puławach zlokalizowano wśród rozległego kompleksu leśnego, złożonego głównie z sosny, ze sporadyczną domieszką dębu szypułkowego, dębu bezszypułkowego i brzozy brodawkowatej. Lasy te występują na głębokich piaskach luźnych, z wodą gruntową leżącą na znacznej głębokości. Pod względem fitosocjologicznym są to przede wszystkim bory świeże (ryc. 2). Na północ od kombinatu, niewielkie powierzchnie pokrywają bory chrobotkowe. Jedynie w południowej części kompleksu występują lasy wielogatunkowe, ze znacznym udziałem, lub nawet z przewagą gatunków liściastych. Są to bory mieszane, lasy mieszane i grądy.

Lasy te, z wyjątkiem przylegających do kombinatu od strony południowej, są ze względu na swój skład gatunkowy bardzo podatne na działanie zanieczyszczeń powietrza.

Zakłady Azotowe w Puławach emitują do atmosfery różne związki chemiczne. Najważniejsze z nich to związki azotu: amoniak w postaci gazowej, tlenek azotu i saletra amonowa w postaci aerosolu.

Według danych Zakładów Azotowych z lipca 1969 r. w miejscach największego stężenia opada 1000—1200 kg tych związków na hektar w ciągu roku (ryc. 1). Są to oczywiście ilości maksymalne, występujące u samego źródła emisji. W miarę oddalania się od źródła ilości te maleją.

Obok związków azotu emitowane są również związki siarki głównie SO_2 . Stężenie ich na terenie Zakładów Azotowych jest jednak niewielkie. W latach 1966—1967 było ono znacznie niższe niż w innych rejonach uprzemysłowionych, jednak wykazywało wyraźną tendencję zwyżkową (1).

¹ Autor przedstawia w pracy stan z połowy lata 1969 r. W 1970 r. nastąpiło dalsze, bardzo znaczne rozszerzenie się szkód. Katastrofalne skutki oddziaływania emisji Zakładów Azotowych w Puławach na drzewostany będą tematem odrębnego artykułu. (Kom. Red.)

Zakłady Azotowe rozpoczęły produkcję w czerwcu 1966 r. i już na początku 1967 r. zaobserwowano w ich otoczeniu usychanie drzewostanów sosnowych. Na przedwiośniu 1968 r. na powierzchni ponad 2 ha przylegającej do kombinatu od strony wschodniej, drzewostan uległ całkowitemu obumarciu. W ciągu wiosny i lata 1968 r. uszkodzenia wystąpiły już na kilkudziesięciu hektarach. Rok 1969 przyniósł dalszy, bardzo szybki wzrost strefy uszkodzonej, przede wszystkim na obszarze położonym na wschód od kombinatu. W połowie 1969 r. strefa silnego uszkodzenia drzewostanów obejmowała już powierzchnię kilkuset hektarów (ryc. 4).



Ryc. 1. Las wypełniony aerozolem saletry amonowej w odległości 400 m od źródła emisji. Lipiec 1969 r. Fot. A. W. Sokołowski

Oddziaływanie zanieczyszczeń atmosfery wykazuje wyraźną strefowość. Jest ono najsilniejsze u źródła emisji i maleje w miarę oddalania się od niego. W celu ilościowego ujęcia zjawiska zniszczeń, w maju 1969 r. skartowano strefy uszkodzeń drzewostanów sosnowych (2). Wyróżniono 4 strefy oddziaływania zanieczyszczeń powietrza. Kryterium oceny stopnia uszkodzeń drzewostanów stanowił udział drzew o różnym nasileniu porażenia:

strefa 0 — brak drzew o wyraźnych objawach uszkodzeń,

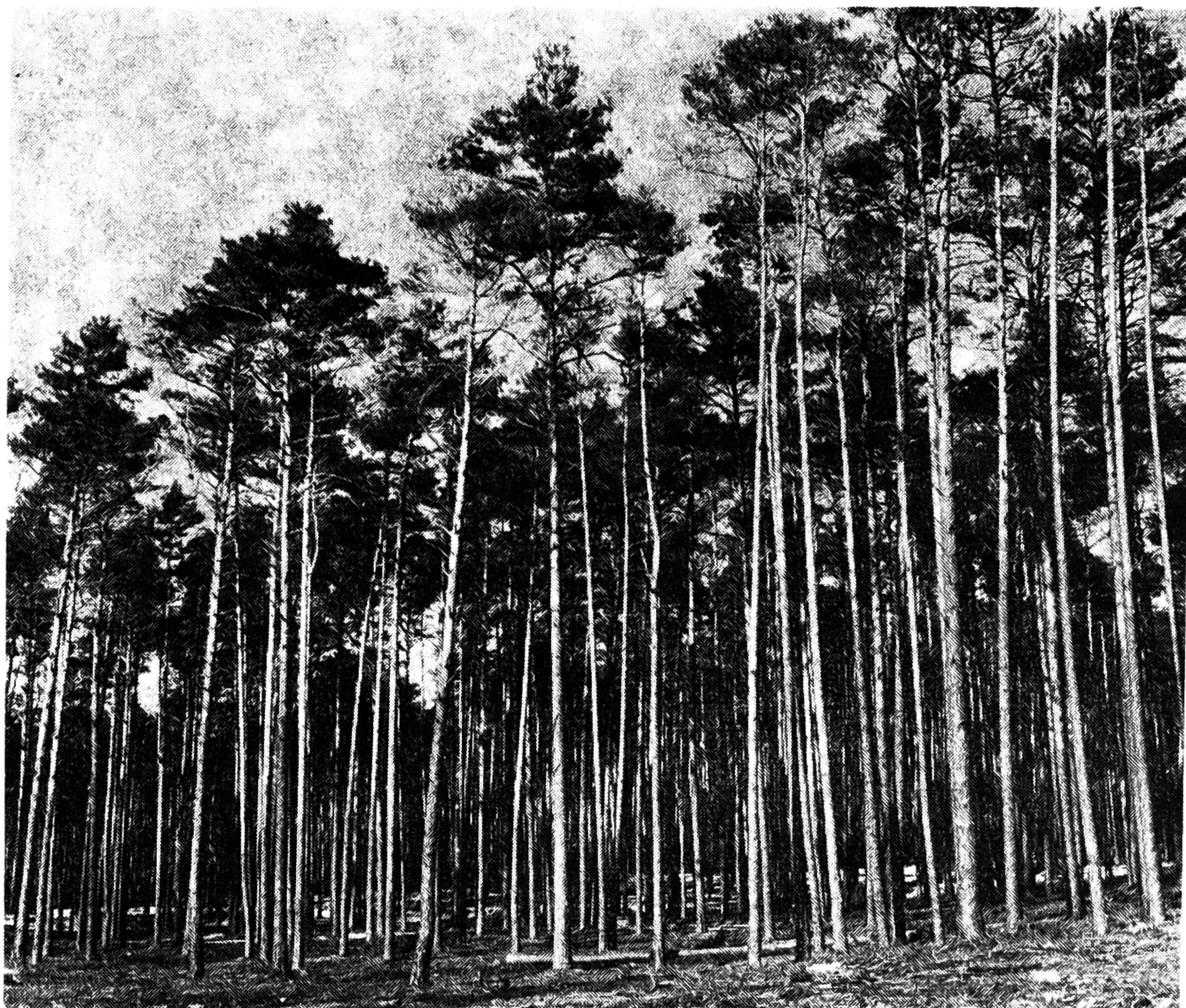
strefa 1 — do 30% drzew suchych lub usychających, wzmożony opad igliwia u większości drzew,

strefa 2 — 31—70% drzew suchych lub usychających, obfity opad igliwia,

strefa 3 — powyżej 70% drzew suchych i silnie uszkodzonych, igliwie opada badzo obficie ze wszystkich drzew.

Analizując stopień uszkodzenia drzewostanu ograniczono się tylko do sosny, jako głównego jego składnika, będącego równocześnie najbardziej wrażliwym gatunkiem na oddziaływanie emisji związków azotu.

Strefy uszkodzeń układają się mniej więcej centrycznie w stosunku do źródła zanieczyszczeń, z przesunięciem na północny wschód, zgodnie



Ryc. 2. Starodrzew sosnowy obok Zakładów Azotowych. Lato 1968 roku.
Fot. A. W. Sokołowski

z panującym kierunkiem wiatrów (ryc. 4). Strefa trzecia, charakteryzująca się najsilniejszym porażeniem, stanowi dość zwarty zasięg i dochodzi w niektórych punktach do 700 m od Zakładów Azotowych. Graniczy ona ze strefą drugą, której szerokość waha się od 100—800 m. Jeszcze bardziej nieregularny zasięg wykazuje strefa pierwsza. Szerokość tej strefy, charakteryzującej się stosunkowo małym stopniem uszkodzeń, wynosi 100—1000 m.

Ogólna powierzchnia drzewostanów uszkodzonych lub zniszczonych przez emisje Zakładów Azotowych w maju 1969 r. wynosiła w nadleśnictwie Puławy: strefa 1 — 497 ha, strefa 2 — 180 ha, strefa 3 — 113 ha.



Ryc. 3. Staródrzew sosnowy jak na ryc. 2 zupełnie obumarły. Lipiec 1969 r.
Fot. A. W. Sokołowski

Proces zanikania lasu w strefie dużej koncentracji zanieczyszczeń powietrza jest bardzo szybki (ryc. 2 i 3). Zbiorowiska leśne typu boru świeżego obumarły tu w ciągu jednego roku. Zjawisko to ilustruje tabela 1 przedstawiająca zdjęcia fitosocjologiczne wykonane w tym zespole drzewostanów: pierwszy raz w 1968 r. i powtórnie latem 1969 r. Rozmieszczenie powierzchni badawczych przedstawia ryc. 4.

W 1968 r. wszystkie badane powierzchnie znajdowały się poza strefą zniszczenia lub w obszarze tylko nieznacznie uszkodzonym (powierzchnie 3 i 12). Uszkodzenia te jednak nie zaznaczyły się wcale w fitosocjologicznym charakterze zbiorowisk.

Po upływie roku, w lipcu 1969 r. w zbiorowiskach nastąpiły już bardzo duże zmiany. W strefie silnego oddziaływania zanieczyszczeń, zbiorowiska uległy zupełnemu zniszczeniu (powierzchnie 3 i 12, tab. 1). Obumarły tu zarówno drzewostan, jak i roślinność warstwy ziół i mchów. Na powierzchni 12 zachowały się tylko dwa dąbki w warstwie krzewów z liśćmi silnie poskręcanymi i w znacznej części zczerniałymi oraz parę siewek dębu, również z objawami poparzeń. W warstwie ziół utrzymał się jedynie *Rumex acetosella* — gatunek z natury nieleśny. Pojawiło się natomiast kilka egzemplarzy komosy — *Chenopodium album*, będącej typowym chwastem ogrodowym, a obok powierzchni — *Senecio viscosus* i *Corispermum* sp.

Na powierzchni 3 zachował się również *Rumex acetosella* i *Calamagrostis epigeios*. Ten ostatni bardzo skarłały, z pożółkłymi i częściowo uschniętymi końcami liści. Natomiast *Rumex acetosella* na obu powierzchniach rozwijał się bujnie, bez widocznych objawów uszkodzeń. Taki obraz występuje w trzeciej strefie zniszczenia lasu (ryc. 4).

W strefie słabszego oddziaływania zanieczyszczeń atmosfery zniszczenie zbiorowiska leśnego jest mniejsze, ale również bardzo wyraźne. Tu oddziaływanie to ma charakter selektywny w stosunku do poszczególnych gatunków (tab. 1, pow. 1). Drzewostan sosnowy silnie przerzedził się. Znacznej redukcji uległ stopień pokrycia warstwy ziół i mchów w wyniku silnego obumierania poszczególnych gatunków. Niektóre gatunki (*Calluna vulgaris*, *Carex ericetorum*) zupełnie obumarły. Pojawiło się natomiast kilka egzemplarzy komosy *Chenopodium album*. Obok powierzchni zanotowano inne gatunki nieleśne: *Amaranthus retroflexus*, *Senecio silvaticus*, *Polygonum tomentosum*, *P. persicaria*, *Erigeron canadensis*. Bujnie rozwijał się również *Rumex acetosella*. Nastąpiło więc tu silne naruszenie struktury zbiorowiska roślinnego, przede wszystkim jego struktury socjalnej. Ten obraz jest charakterystyczny dla krańca drugiej strefy uszkodzenia lasu, w obszarze bliskiego sąsiedztwa ze strefą trzecią (ryc. 4).

W nieco większej odległości od źródła emisji zmiany są mniejsze. Drzewostan uległ przerzedzeniu, ale w znacznie mniejszym stopniu niż na poprzedniej powierzchni, nastąpiła też mniejsza redukcja stopnia pokrycia warstwy ziół i mchów. W warstwie ziół obumarciu zupełnemu uległ wrzos oraz *Carex ericetorum*, nie wyrósł również *Melampyrum pratense*, zjawiał się natomiast *Senecio silvaticus* (tab. 1, pow. 2), a obok powierzchni — *Senecio viscosus*, *Polygonatum convolvulus* i *Rumex acetosella* — gatunki nieleśne. W warstwie mchów zmniejszył się stopień pokrycia przez *Entodon Schreberi*, głównie w wyniku zasypania powierzchni gleby igliwem sosnowym.

Ten obraz jest charakterystyczny dla początku drugiej strefy uszkodzeń lasu, w obszarze sąsiadującym ze strefą pierwszą (ryc. 4).

W pierwszej strefie uszkodzenia lasu zmiany w zbiorowiskach są niewielkie (tab. 1, pow. 4 i 5). Na powierzchni 4, położonej w pobliżu strefy drugiej nastąpiła niewielka redukcja zwarcia drzewostanu w wyniku przerzedzenia koron. Zmniejszył się również stopień pokrycia warstwy mchów, głównie wskutek zasypania powierzchni gleby przedwcześnie opadającym igliwem sosn. Natomiast nieco wzrósł stopień pokrycia warstwy ziół, głównie dzięki bujniejszemu niż w r. 1968 r. rozwojowi borówki czernicy i borówki brusznicy. Niektóre jednak gatunki (*Calluna*

Zmiany w składzie gatunkowym zbiorowisk boru świeżego zespołu *Vaccinio myrtilli-Pinetum*

Nr powierzchni	1968												1969											
	12	3	1	2	4	5	6	11	12	3	1	2	4	5	6	11								
Strefa uszkodzenia		1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0								
1		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17							
Pokrycie warstwy drzew	40	65	60	65	60	65	60	65	65	65	30	50	50	50	65	70								
Pokrycie warstwy krzewów	+	.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	5								
Pokrycie warstwy ziół	65	1	30	30	40	1	15	65	65	+	+	20	50	3	+	70								
Pokrycie warstwy mchów	5	60	70	70	75	60	65	60	60	.	10	30	50	50	70	60								
Powierzchnia zdjęcia w m ²	156	256	187	169	168	289	195	150	150	156	256	187	169	289	195	150								
Liczba gatunków	11	13	14	12	18	18	21	13	13	3	2	11	10	17	16	13								
Drzewa																								
<i>Pinus silvestris</i>	3.3	4.4	4.3	4.4	4.3	4.4	4.4	4.4	4.4	.	.	3.2	3.3	4.4	4.4	4.4								
" <i>Quercus robur</i>	+	+	.	+	.	.	.	+	+	+	+	+	+	.	.	+								
" "	+	.	+	+	.	.	.	+	+	+	+	+	+	.	.	+								
" <i>Quercus sessilis</i>	+	.	.	.	+	+	+	1.1	1.1	+	.	.	.	+	.	1.1								
" "	.	.	.	.	.	.	.	1.2	1.2	.	.	.	.	.	.	1.2
" <i>Betula verrucosa</i>	.	+	+	+	.	+	.	.	+	.	.	+	+	.	+	+								
" <i>Quercus rubra</i>	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Populus tremula</i>	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	+	.
<i>Pirus communis</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Gatunki charakterystyczne																								
kl. <i>Vaccinio-Piceetea</i>																								
<i>Entodon Schreberi</i>	1.3	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.3	3.3	3.3	.	.	2.3	3.3	3.3	4.4	4.3								
<i>Vaccinium myrtilus</i>	4.4	1.3	1.3	1.3	1.3	+	+	+	+	.	.	+	1.3	2.3	1.2	+	4.4							

<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	1.2	.	2.2	2.3	2.3	+	1.2	1.2	.	r	2.2	3.3	+	1.2	1.2	
<i>Dicranum undulatum</i>	.	1.3	+ .3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	.	+ .3	+ .2	1.3	+ .3	+ .3	+ .3	
<i>Hylacomium splendens</i>	1.3	.	1.3	+ .3	+	.	.	1.2	.	1.2	+ .2	+	.	.	1.2	
<i>Melampyrum pratense</i>	.	.	+	+ .2	+	.	+ .2	1.2	.	.	.	.	.	+	+ .2
<i>Scorzonera humilis</i>	+	.	.	+	+	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.
Gatunki towarzyszące																
<i>Calluna vulgaris</i>	+ .2	+ .2	+ .3	1.3	2.3	+ .2	2.3	+ .2	2.3	+	+ .2	+ .2°	+ .2	r	+ .2	
<i>Agrostis vulgaris</i>	+ .2	+ .2	.	.	+ .2	+ .2	+ .2	+ .2	.	+ .3	.	+ .2	+ .2	+ .2	.	
<i>Festuca ovina</i>	.	+ .3	+ .2	.	+ .2	+ .2	+ .2	+ .2	.	.	.	+ .2	+ .2	+ .2	+ .2	
<i>Carex ericetorum</i>	.	+ .2	+ .2	+ .2	+ .2	+ .2	+ .2	+ .2	.	.	.	+ .2	+ .2	+ .2	.	
<i>Juniperus communis</i>	.	.	+	.	.	+	+	+	.	.	.	.	+	+	.
" "																
<i>Leucobryum glaucum</i>	.	.	.	+ .3	+ .3	.	.	.	.	.	+ .3	.	.	.	+ .3
<i>Senecio silvaticus</i>	+	.	+	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.
<i>Rumex acetosella</i>	+	+ .2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+ .2	.	.
<i>Frangula alnus</i>	.	+	.	.	.	r	.	r	.	.	.	.	.	+	.
<i>Luzula multiflora</i>	.	.	.	.	+ .2	.	.	+ .2	.	.	.	.	.	.	.
<i>Thymus serpyllum</i>	.	.	.	.	+ .2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Calamagrostis epigeios</i>	.	+ .2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Cytisus ratisbonensis</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Luzula pilosa</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Sieglingia decumbens</i>	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Genista tinctoria</i>	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Cytisus nigricans</i>	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Solidago virga-aurea</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Veronica officinalis</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Dicranum spurium</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Cladonia furcata</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Chenopodium album</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Senecio sp.</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.
<i>Stellaria media</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.

vulgaris i *Melampyrum pratense*) wyginęły całkowicie. Obok powierzchni zanotowano *Rumex acetosella*.

Podobne stosunki obserwuje się na powierzchni 5. Obok powierzchni pojawiły się gatunki nieleśne: *Senecio silvaticus* i *Polygonum tomentosum*.

W strefie bez wyraźnych objawów uszkodzeń (strefa 0) (tab. 1, pow. 6) zmiany są niewielkie, jednak widoczne. Przede wszystkim nastąpiła redukcja stopnia zwarcia w warstwie ziół wskutek obumarcia znacznej części kęp wrzosu. Inne różnice zaznaczające się pomiędzy stanem w latach 1968 i 1969 mogą wynikać z błędu obserwacji.

Na powierzchni 11 zmiany nie zaznaczyły się w sposób widoczny. Nastąpiło tu jednak zwiększenie stopnia pokrycia warstwy ziół w wyniku bujniejszego rozwoju borówki czernicy.



Ryc. 5. Obumierające brzozy brodawkowate i dęby bezszypułkowe pozostawione na zrębie po wycięciu martwego drzewostanu sosnowego. Lipiec 1969. Fot. A. W. Sokołowski

W sąsiedztwie źródła emisji (strefa 3) cała roślinność leśna uległa zupełnemu zniszczeniu. Obumiera tu zarówno drzewostan, jak i roślinność niższych warstw — runo i mchy. Nie wytrzymują tu również towarzyszące sośnie, gatunki liściaste, jak brzoza brodawkowata i dęby: szypułkowy i bezszypułkowy (ryc. 5). Powstaje więc strefa bezleśna. Nie jest ona jednak pozbawiona roślinności w ogóle. W miejscu zupełnego zniszczenia lasu pojawiają się bowiem ogrodowe chwasty i rośliny ruderalne. Okazuje się, że w tej strefie, charakteryzującej się tak specyficznymi warunkami, niektóre jednoroczne gatunki mogą się rozwijać. Potwierdziły to doświadczenia przeprowadzone przez Instytut Uprawy, Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach, które wykazały, że w strefie tej mogą rosnąć zadowalająco niektóre jednoroczne rośliny uprawne, pod warunkiem zastosowania odpowiednich zabiegów agrotechnicznych.

Rolnicze zagospodarowanie strefy dużych koncentracji zanieczyszczeń powietrza jest uzasadnione również tym, że rośliny uprawne zużywają kilkakrotnie więcej azotu niż najbardziej wymagające pod tym względem gatunki drzewiaste. Poza tym, azot zużyty przez rośliny uprawne, jest wraz z nimi zabierany z terenu uprawy. Natomiast znaczna część azotu zużytego przez rośliny leśne wraca do gleby wraz z obumierającymi szczątkami roślin (ściółka). Tymczasem cały emitowany azot powinien być na bieżąco zużywany przez rośliny. W przeciwnym razie nastąpi bowiem kumulacja azotu i zatrucie gleby jego nadmiarem.

*Z Pracowni Badania Lasów Pierwotnych IBL
w Białowieży*

LITERATURA

1. Adamczyk-Winiarska Z., Górski Z., Siuta J. — Badania zanieczyszczeń atmosfery w rejonie Puław. „Zeszyty Badań Rejonów Przemysłowych”, nr 34, 1969.
2. Sokołowski A. W., Kawecka A. — Oddziaływanie przemysłowych zanieczyszczeń powietrza na roślinność leśną nadleśnictwa Puławy „Zeszyty Badań Rejonów Przemysłowych” (w druku).

Praca wpłynęła do Komitetu Redakcyjnego 23 marca 1970 r.

Краткое содержание

Завод азотных удобрений в Пулавах расположен среди обширного лесного комплекса, в состав которого входит сосна с редкой примесью бородавчатой березы, летнего и зимнего дуба. Эти леса растут на глубоких свободных песках, с глубоко расположенным уровнем грунтовой воды.

Завод азотных удобрений извергает в атмосферу, главным образом, аммиак, окись азота и аммиачную селитру.

В начале 1967 г., т. е. на следующий год после начала производства по соседству с заводом замечено усыхание сосны. Весной 1968 г. усохло свыше 2 га леса, а в 1969 г. зона очень сильного повреждения достигала уже около 100 га, а около 700 га леса проявляло острые признаки повреждений (рис. 2).

Процесс исчезновения леса в зоне большой концентрации загрязнений воздуха происходит очень быстро. Лесные сообщества отмирали здесь в течение одного года. Это явление иллюстрирует таблица 1, представляющая фитосоциологические снимки выполненные дважды в сообществе *Vaccinio myrtilli-Pinetum* в 1968 г. и вторично — в 1969 г.

По соседству с источником извержений загрязнений лесное сообщество в целом подвергается полному уничтожению. Отмирает здесь как древостой, так и напочвенный растительный покров и мхи. Не выдерживают здесь также листовые породы как бородавчатая береза, летний и зимний дуб (рис. 5). Следовательно возникает здесь безлесная зона. В этой зоне появляются самопроизвольно разные виды огородных сорняков и рудеральные растения. Могут также хорошо развиваться однолетние культурные растения, при условии применения соответствующих интенсивных агротехнических мероприятий.

Зона расположенная в пределах больших концентраций соединений азота должна быть предназначена для сельскохозяйственного пользования. Это обуславливается прежде всего тем, что культурные растения потребляют в несколько раз больше азота, чем даже наиболее требовательные в этом отношении древесные породы. Кроме того азот использованный культурными растениями вместе с этими растениями собирается с площади разведения. В тоже время значительная часть азота использованного лесными растениями возвращается в почву вместе с подстилкой. Тем временем весь извергаемый азот должен быть тут же использован растениями. В противном случае наступает концентрация азота и отравление почвы его избытком.

Summary

Nitrogen plant at Puławy was situated among the extensive forest tract composed of pine with a sporadic admixture of common birch, durmast oak, and English oak. These forests grow on deep loose sands with deeply situated groundwater table.

Nitrogen plant emits to atmosphere mainly ammonia, nitrogen oxide, and ammonium saltpetre.

At the beginning of 1967, i.e. in the following year after the commencing of production, drying of pines was recorded in the vicinity of plant. During the spring of 1968 more than 2 ha of forest died, while in 1969 the zone of very serious destruction extended already on 100 ha and some 700 ha of forest indicated obvious symptoms of destruction (fig. 2).

The process of forest disappearance within the zone of a high concentration of air pollution is quite rapid. Forest associations died here within one year. The phenomenon is illustrated by table 1 containing plant sociological records taken on two occasions in the association *Vaccinio myrtilli* — *Pinetum*: in 1968 and again in 1969.

The whole forest community is subjected to total destruction in vicinity of the source of contamination emission. Here dies both the tree stand and herb layer and mosses. Also deciduous species, as common birch, durmast, and English oak cannot withstand it (fig. 5). Thus a treeless zone is formed here. Garden weed species and ruderal plants spontaneously appear in this zone. Also annual crop plants may develop here on the condition of the application of intensive agrotechnical treatments.

The zone situated within high concentration of nitrogen compounds ought to be managed by agriculture. This is supported, among others, by the fact that farm crops utilize by several times more nitrogen than even most exacting in this respect woody species. Besides, nitrogen utilized by farm crops is removed together with them from a field. On the other hand a considerable part of nitrogen utilized by forest plants returns to soil together with litter. The whole emitted nitrogen ought to be currently used by plants. Otherwise there will occur a nitrogen culmination and pollution of soil by its excess.