

УСТОЙЧИВО УПРАВЛЕНИЕ НА ЕКОСИСТЕМИТЕ ЧРЕЗ МОДЕЛИРАНЕ НА КРИТИЧНИТЕ НАТОВАРВАНИЯ ЗА ЗАМЪРСИТЕЛИ

Надка Игнатова, Иван Мяшков
Лесотехнически университет - София

Критичните натоварвания дефинират горната граница на натоварване на екосистемите със замърсяващи вещества, под която няма увреждания и екосистемите се развиват устойчиво според съществуващите знания. Моделирането и прогнозирането на натоварванията с кисляващи замърсители за бъдещ период от време дава възможност да се определи размерът на редуцията на замърсяването в съответната територия и чрез природозащитни управленчески решения да се опазят екосистемите от увреждания, с което се гарантира устойчивото им управление.

Критичните натоварвания за кисляващи замърсители са определени за три района в България, с различно ниво на замърсеност (Юндола, Витиня и Старо Оряхово), по балансовия метод за устойчиво развитие на екосистемите (Steady state mass balance). Чрез измерване на реалните отлагания на замърсители в тези райони е изчислено, че критичните натоварвания за киселинност, сяра и азот не са превишени за 2003 г.

Чрез VSD (Very simple dynamic) модел са определени прогнозните натоварвания за изследваните замърсители за 2030, 2050 и 2100 г. При визуализирането на резултатите от моделирането са съпоставени критичните натоварвания за 2003 г. с прогнозните натоварвания за всеки район и е установено, че не се очакват превишения на критичните натоварвания за съответните замърсители.

Получените резултати от моделирането на критичните натоварвания могат да се използват от Министерството на околната среда и водите за определяне на необходимото намаляване на емисиите на съответните замърсители и в други райони, с оглед обезпечаване на устойчиво развитие на екосистемите в тях.

Ключови думи: кисляващи замърсители, динамично моделиране, критични натоварвания, устойчиво управление

Key words: acidifying pollutants, critical loads, dynamic modeling, sustainable management

Въведение

През последните години бяха проведени редица проучвания върху определяне на критичните натоварвания за кисляващи замърсители и тежки метали за сухоземни и водни екосистеми с използването на балансови методи в национален и европейски мащаб (Posch et al., 1999, 2001; Ignatova et al., 1997, 1999, 2001). Особено внимание беше отделено на горските екосистеми, където основните кисели отлагания се внасят най-вече с валежите.

Критичните натоварвания дефинират горната граница на натоварване на екосистемите със замърсяващи вещества, под която няма увреждания и екосистемите се развиват устойчиво.

Получените от подобни изследвания резултати се използват за определяне на редуцирането на емисиите на кисели замърсители в рамките на Конвенцията на Европейската икономическа комисия към ООН за намаляване на трансграничното замърсяване, в която Европейският Съюз е най-важният партньор. Смята се, че управлението на екосистемите, основано на критичните натоварвания за избрани рецептори в конкретна териториална единица може да донесе много по-вече ползи от диференцирано намаляване на емисиите, отколкото техническите мерки.

Във връзка с това основната цел на това про-

учване е да се определят критичните натоварвания за кисляващи замърсители в райони с различна степен на замърсяване и чрез динамично моделиране да се прогнозира приемливите за продължителен период от време натоварвания с киселинност, сяра и азот от широколистни и иглолистни горски екосистеми с оглед запазване на устойчивото им развитие.

Моделирането и прогнозирането на натоварванията с кисляващи замърсители и тежки метали за бъдещ период от време дава възможност да се определи размерът на редуцията на замърсяването в съответната териториална единица и чрез природозащитни решения да се опазят екосистемите от увреждания, с което се създават условия за устойчивото им управление.

Материали и методи

Критичните натоварвания за кисляващи замърсители са определени за три района в България (Юндола, Витиня и Старо Оряхово) по балансовия метод за устойчиво развитие на екосистемите (Steady state mass balance) (Hettelingh and de Vries 1992; Downing et al. 1993; Party et al. 1993; Sverdrup and de Vries 1994; UBA 1996; Ignatova et al., 1998) по следните уравнения:

$$CL(A) = BC_w + Q[H]_{crit} + R Al/Ca (BC_{dep} + BC_w - BC_u) = 2.5 BC_w + 0.09 Q + 1.5 BC_{dep} - 1.5 BC_u$$

където: $CL(A)$ = критично натоварване за киселинност

BCw = приход на базични катиони от изветряне

Q = дрениран воден отток извън коренообитаемия слой, $m^3 ha^{-1} yr^{-1}$

$[H^+]_{crit}$ = критична концентрация на H^+ ($0.09 eq m^{-3}$, при pH 4.0) (Hettelingh, de Vries 1992)

$R_{Al/Ca}$ = критично отношение $Al/Ca = 1.5 eq eq^{-1}$ (UBA 1996)

BC_{dep} = атмосферно отлагане на базични катиони, $eq ha^{-1} yr^{-1}$

BC_u = износ на базични катиони с надземната биомаса, $eq ha^{-1} yr^{-1}$

Максималните и минималните критични натоварвания за сяра и азот са определени по формулите:

$$CL_{max}(S) = CL(A) + BC_{dep} - BC_u$$

$$CL_{min}(N) = N_u + Ni$$

$$CL_{max}(N) = CL_{min}(N) + CL_{max}(S)$$

където: N_u = износ на азот с биомасата, $eq ha^{-1} yr^{-1}$

Ni = имобилизиран азот

Реалните отлагания на сяра са определени като сума от отложената сяра от SO_2 в атмосферата ($PL(S-SO_2)$) и сулфатната сяра, отложена с валежите $PL(S-SO_4^{2-})$, в $eq ha^{-1} yr^{-1}$ по уравнението:

$$PL(S) = PL(S-SO_2) + PL(S-SO_4^{2-})$$

Аналогично, реалните отлагания на азот са определени по формулата:

$$PL(N) = PL(N-NO_2) + PL(N-NO_3^- + N-NH_4^+)$$

където: $N-NO_2$ = отложен азот от NO_2 в атмосферата, $eq ha^{-1} yr^{-1}$

$N-NO_3^-$ и $N-NH_4^+$ = отложен нитратен и амониев азот с валежите, $eq ha^{-1} yr^{-1}$

Превишенията на критичните натоварвания (Ex) от реалните отлагания (PL) са изчислени по следните уравнения:

$$Ex(A) = PL(S) + PL(N) - BC_{dep} - BC_u - N_u - CL(A)$$

$$Ex(S) = PL(S) - Sf(BC_u - BC_{dep}) - CL(S)$$

$$Ex(N) = PL(N) + (1 - Sf)(BC_u - BC_{dep}) - CL(N)$$

където: $Sf = PL(S) / (PL(S) + PL(N) - N_u - Ni)$;

За базов в настоящото изследване е избран софтуер за динамично моделиране Very Simple Dynamic (VSD) Model (Posch et al., 2003). Той е опростен и допълнен вариант на модела Simple Mass Balance (SMB) Model, като е включен факторът катионна обмяна (разработена в два варианта - Gaines-Thomas и Garon) и азотната имобилизация в почвата, която е динамично зависима от състоянието на другите параметри във времето.

VSD моделът е основан на принципа на рав-

новесието на йоните на отделните химични елементи в почвата и се дава чрез следното уравнение:

$$[H^+] + [Bc^{2+}] + [Na^+] + [Al^{3+}] = [SO_4^{2-}] + [NO_3^-] + [Cl^-] + [HCO_3^-],$$

където: $Bc = Ca + Mg + K$

Параметрите за работа на модела се задават по два начина: ръчно и чрез интерактивна намеса по време на подготовката за работа. Файловете с изходни данни са в два формата - .dat и .xls. Графиките с резултатите се извеждат в Postscript (.eps) формат, което позволява включването на резултатите в документи, както и директното им използване при предпечатна подготовка за публикуване.

Резултати и дискусия

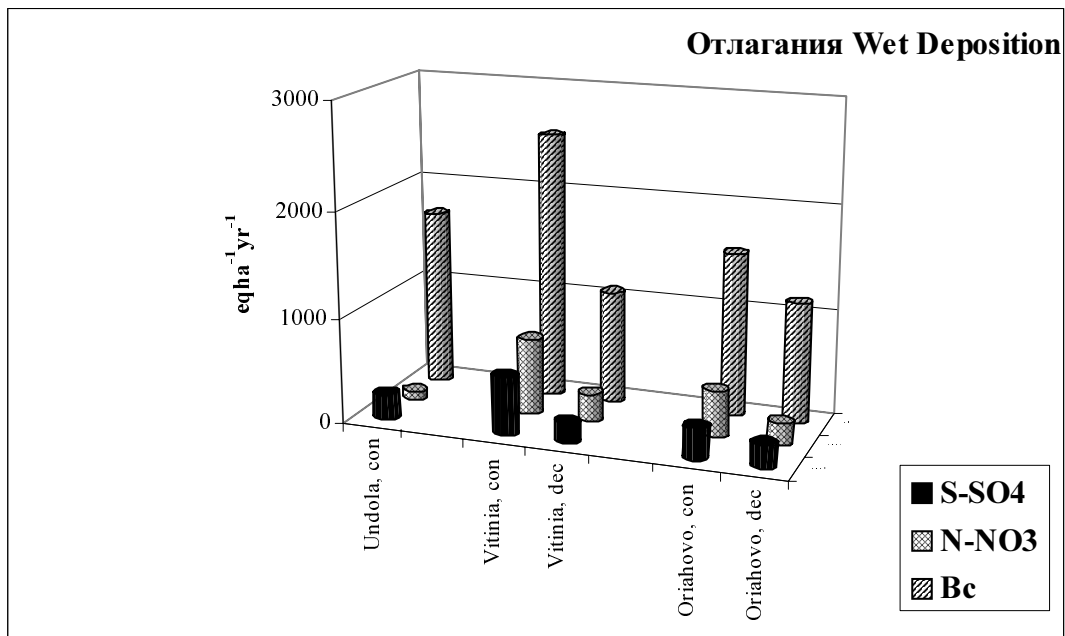
Чрез измерване на реалните отлагания на замърсители в изследваните райони е установено, че отлаганията на вкисляващи замърсители и алкализирани йони с валежите са най-ниски в Юндола и най-високи във Витиня, докато в Старо Оряхово заемат междинно място (фиг. 1). Получените резултати за отлаганията на изследваните йони с валежните води под короните на иглолистни и широколистни рецептори показват, че отлаганията на базичните катиони на калия, калция и магнезия превишават съществено отлаганията на вкисляващите сулфати и нитрати и на трите мониторингови станции.

Получените резултати за отлаганията на изследваните йони с валежните води под короните на иглолистни и широколистни рецептори показват, че отлаганията на базичните катиони на калия, калция и магнезия, които изпълняват неутрализираща роля срещу вкисляването, превишават съществено отлаганията на вкисляващите сулфати и нитрати в изследваните райони. Под короните на широколистните рецептори във Витиня и в Старо Оряхово се отлагат съпоставими количества базични катиони ($1220 eq ha^{-1} год^{-1}$ във Витиня и $1157 eq ha^{-1} год^{-1}$ в Старо Оряхово), които са по-ниски, отколкото под короните на иглолистните дървесни видове. Най-много базични катиони се отлагат под иглолистните корони във Витиня ($2543 eq ha^{-1} год^{-1}$), а най-малко в Старо Оряхово ($1692 eq ha^{-1} год^{-1}$). Под короните на иглолистните рецептори във Витиня се отлагат и най-много вкисляващи сулфатни ($554 eq ha^{-1} год^{-1}$) и нитратни ($1235 eq ha^{-1} год^{-1}$) йони. Тяжното количество в Юндола е съответно $246 eq ha^{-1} год^{-1}$ за сулфатната сяра и $168 eq ha^{-1} год^{-1}$ за нитратния азот, а в Старо Оряхово $303 eq ha^{-1} год^{-1}$ и $640 eq ha^{-1} год^{-1}$. Ако се съпоставят отлаганията под короните на широколистните видове във Витиня и Старо Оряхово, прави впечатление, че въпреки разликата в надморската височина и в редица екологични параметри, отлаганията на почти всички йони са

съпоставими. Изключение правят само натриевите и хлорните йони, чиито отлагания са по-високи в Старо Оряхово ($223 \text{ eq ha}^{-1} \text{ год}^{-1}$ за натриевите йони и $324 \text{ eq ha}^{-1} \text{ год}^{-1}$ за хлоридите), отколкото във Витиня (съответно $79 \text{ eq ha}^{-1} \text{ год}^{-1}$ и $140 \text{ eq ha}^{-1} \text{ год}^{-1}$), което е обяснимо предвид близостта на последната станция до морето.

Като цяло, критичните натоварвания за киселинност и в трите района на проучването са високи и това определя добрата поносимост на изследваните екосистеми по отношение на киселите замърсители (фиг. 2). Широколистните рецептори са по-чувствителни, тъй като критичните натоварвания за тях са по-ниски, отколкото за иглолистните при

сходни условия на околната среда. Най-голяма е разликата в критичните натоварвания за киселинност за иглолистни ($4364 \text{ eq ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$) и широколистни ($1959 \text{ eq ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$) рецептори във Витиня, където климатичните и метеорологичните условия са най-екстремни. В Старо Оряхово стойностите на критичните натоварвания за иглолистни ($4295 \text{ eq ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$) са съпоставими с тези във Витиня, но широколистните са по-устойчиви ($3302 \text{ eq ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$). В групата на изследваните иглолистни видове, най-чувствителни спрямо киселите отлагания са рецепторите в Юндола, където критичните натоварвания за киселинност са $3133 \text{ eq ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$.



Фиг. 1. Годишни отлагания с валежите на сяра, нитратен азот и базични катиони под короните на иглолистни (con) и широколистни (dec) дървесни видове в Юндола, Витиня и Старо Оряхово за 2003 г., $\text{eq ha}^{-1} \text{ год}^{-1}$.

Fig. 1. Annual throughfall depositions of sulfur, nitrate nitrogen and base cations under coniferous (con) and deciduous (dec) forests in Undola, Vitinia and Staro Oriahovo for 2003, $\text{eq ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$.

Критичните натоварвания за киселяващите замърсители придобиват измерима практическа значимост когато се съпоставят с реалните отлагания на тези замърсители с валежите и от атмосферата чрез определяне на превишенията им. Въпреки отбелязаните различия в степента на поносимост на различните рецептори спрямо дискутираните замърсители е необходимо да се подчертае, че за 2003 г. не са установени превишения на определените критични натоварвания за киселинност, сяра и азот. Има обаче различия в размера на разликите между критични и реални натоварвания (фиг.3).

Така например, изследваните екосистеми в

Юндола биха могли да понесат без увреждания допълнително още $4052 \text{ eq ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ протони до достигане на критичните натоварвания за киселинност, тези във Витиня съответно $1901 \text{ eq ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$, а рецепторите в Старо Оряхово заемат междинно място с $2887 \text{ eq ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$.

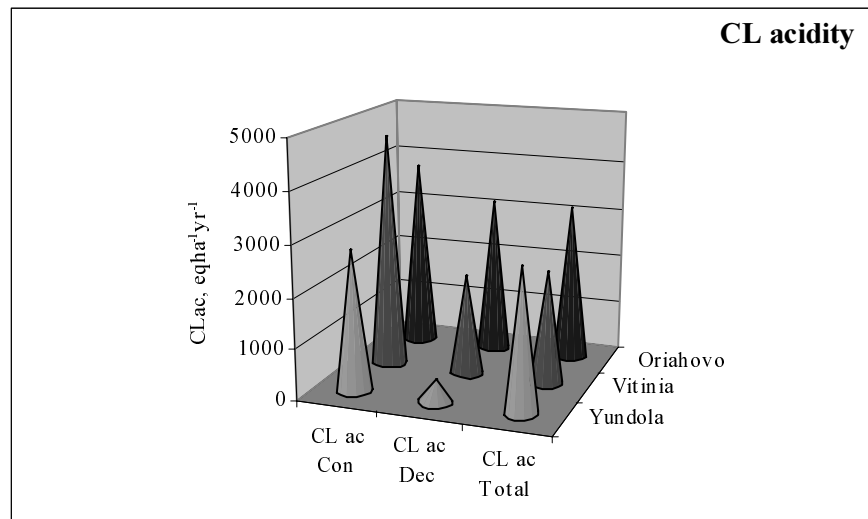
Най-малки възможности за поемане на допълнително натоварване до достигане на критичните натоварвания имат рецепторите във Витиня и за сяросъдържащи замърсители ($-879 \text{ eq ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$), а най-големи са в Юндола ($-1710 \text{ eq ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$).

За разлика от сярата, рецепторите в Юндола биха могли да понесат допълнително само 346 eq

ha⁻¹ yr⁻¹ азот, а тези в Старо Оряхово 2.2 пъти повече (-749 eq ha⁻¹ yr⁻¹). Най-уязвими са горите във Витиня, които могат да понесат допълнително само 217 eq ha⁻¹ yr⁻¹ азот (фиг. 3)

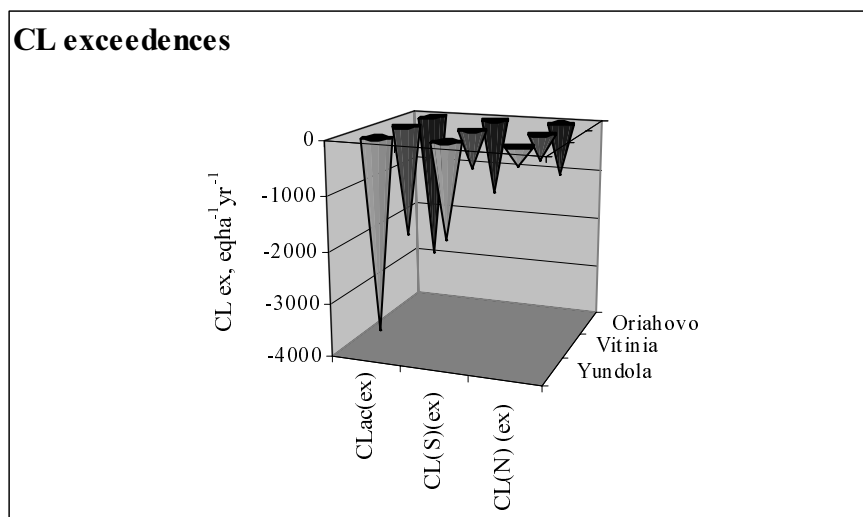
С помощта на определените критични натоварвания и редица екологични параметри на средата са моделирани чрез VSD (Very simple dynamic)

(Posch et al., 2003) модела прогнозните натоварвания за изследваните замърсители за 2030, 2050 и 2100 г. За целта са подготвени индивидуални база данни за всеки изследван район с входяща информация за периода 1987 – 2003 г., които за Юндола (VSDYu.dat) включват следната информация:



Фиг. 2. Критични натоварвания за киселинност в Юндола, Витиня и Старо Оряхово за иглолистни и широколистни рецептори за 2003 г., eq ha⁻¹ yr⁻¹

Fig. 2 Critical loads of acidity at Undola, Vitinia and Staro Oriahovo stands for coniferous and deciduous forest ecosystems for 2003, eq ha⁻¹ yr⁻¹.



Фиг. 3. Превишения на критичните натоварвания за киселинност, сяра и азот в Юндола, Витиня и Старо Оряхово за 2003 г., eq ha⁻¹ yr⁻¹.

Fig. 3. Exceedences of Critical loads of Acidity, Sulfur and Nitrogen at Undola, Vitinia and Staro Oriahovo sites for 2003, eq ha⁻¹ yr⁻¹.

period	0 365	! Период на развитие на модела. В случая 365 дни т.е. една година
thick	0.5	! Дебелина на почвения пласт (m)
bulkdens	1.8	! Обемна плътност на почвата (g/cm ³)
Theta	0.30	! Влажност на почвата в мм/м
pCO2fac	30.	! Парциалното налягане на CO ₂ в почвения разтвор ! в (atm)
CEC	50.	! Капацитет на катийонната обмяна (meq/kg)
Excmmod	1	! Катионната обмяна: за Gaines-Thomas Excmmod = 1; за Garon Excmmod = 2
IgKAIBC	0.	! Константа на обмяната Al- Катийони (Bc = Ca + Mg + K).
IgKHBC	5.	! дефинира се от модела, ако липсва
expAl	3.	! наклона на кривата на зависимостта pH-pAl
IgKAlox	8.	! KAl _{ox} е константа на разпада на Al окиси
Nim_acc	0.	! константа на N-имобилизацията (eq/m ² /yr);
Cpool	34.	! количество на C в хумусно-акумулативния хоризонт (g/m ²);
CNratmin	12	! минимално съотношение C:N в хумусно-акумулативния хоризонт
CNratmax	28	! максимално съотношение C:N в хумусно-акумулативния хоризонт
CNrat_0	18	! средно съотношение C:N
f_de .	0.63	! денитрифицираща фракция (0 <= f_de <= 1);
percol	0.3	! коефициент на филтрация на валежите в почвата (m/ден)
Ca_we	0.0621	! ранг на изменение на Ca (eq/m ³ /yr)
Mg_we	0.0413	! ранг на изменение на Mg (eq/m ³ /yr)
K_we	0.0112	! ранг на изменение на K (eq/m ³ /yr)
Na_we	0.0840	! ранг на изменение на Na (eq/m ³ /yr)
N_gupt	depupt.dat#x	! износ на N (eq/m ² /yr)
Ca_upt	depupt.dat#1	! износ на Ca (eq/m ² /yr)
Mg_upt	depupt.dat#x	! износ на Mg (eq/m ² /yr)

K_upt depupt.dat#4 !износ на K (eq/m²/yr)
 SO₂_dep depupt.dat#1 !отлагания на SO₂(eq/m²/yr)
 NO_x_dep depupt.dat#2 !отлагания на NO_x(eq/m²/yr)
 NH₃_dep depupt.dat#x !отлагания на NH₃(eq/m²/yr)
 Ca_dep depupt.dat#4 !отлагания на Ca (eq/m²/yr)
 Mg_dep depupt.dat#5 !отлагания на Mg (eq/m²/yr)
 K_dep depupt.dat#6 !отлагания на K (eq/m²/yr)
 Na_dep depupt.dat#x !отлагания на Na (eq/m²/yr)
 Cl_dep depupt.dat#x !отлагания на Cl (eq/m²/yr)

При така моделираните натоварвания за сяра и азот, очакваните моделни отлагания (target loads) за 2030, 2050 и 2100 г. са значително по-ниски (фиг. 4). Това показва, че не се очакват превишения на критичните натоварвания за киселящите замърсители в Юндола (2800 .eq ha⁻¹ yr⁻¹ за азот и 850 за сяра) до 2100 г., ако се запази наблюдаваната динамика на реалните отлагания с валежите и от атмосферата. За разлика от Юндола, във Витиня критичните натоварвания са по-ниски, както за азот (1450 eq ha⁻¹ yr⁻¹), така и за сяра (590 eq ha⁻¹ yr⁻¹) (фиг. 5) очакваните моделирани натоварвания през 2030, 2050 и 2100 г. са също по-ниски от критичните и са съпоставими с тези в Юндола. Аналогично е съотношението и в Старо Оряхово, но стойностите там са по-високи от тези във Витиня и в Юндола, както за критичните натоварвания, така и за очакваните моделирани натоварвания.

Получените резултати от моделирането на критичните натоварвания могат да се използват от Министерството на околната среда и водите за намаляване на емисиите на съответните замърсители в изследваните райони, с оглед обезпечаване на устойчиво развитие на екосистемите в тях.

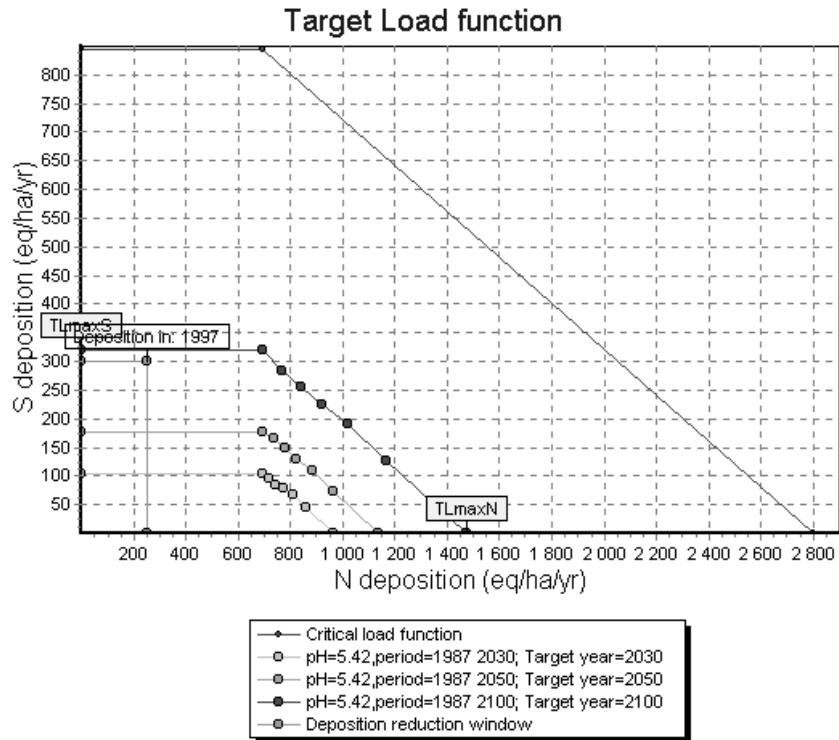
Обобщения, изводи и препоръки

Въз основа на получените резултати от проучването в района на Юндола, Витиня и Старо Оряхово могат да се направят следните по-важни изводи, обобщения и препоръки:

1. Отлаганията на кисели и алкализирани йони с валежите са по-високи под короните на иглолистните гори в сравнение с широколистните. Най-много отлагания с валежите постъпват под короните на иглолистните рецептори в района на Витиня.

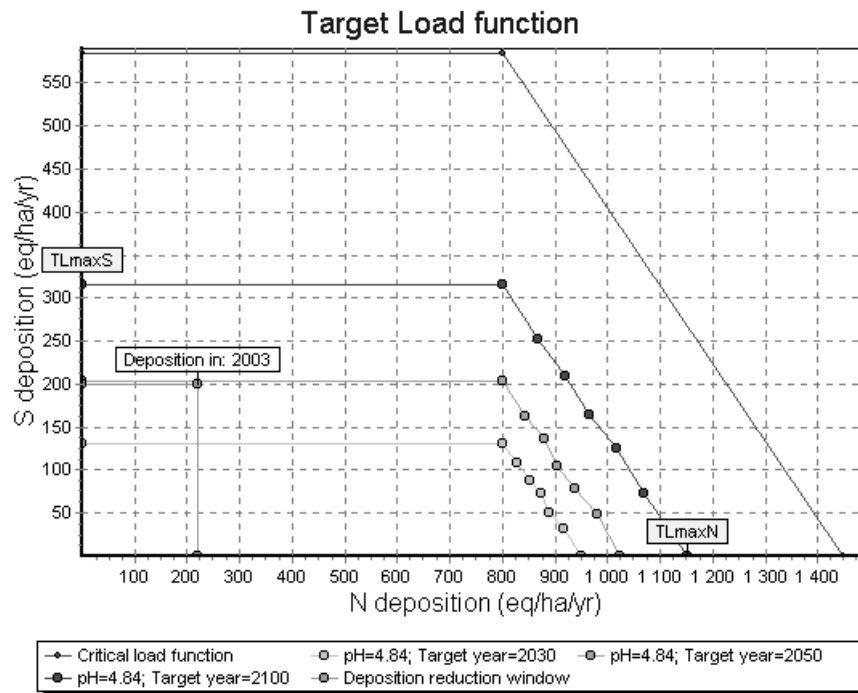
2. Определени са индивидуалните критични натоварвания за киселинност, сяра и азот за 2003 г. за иглолистни и широколистни гори и е установено е, че широколистните рецептори са по-чувствителни спрямо отлаганията на кисели замърсители с валежите и от атмосферата, отколкото иглолистните, а всички изследваните дървесни видове са по-уязвими от серните замърсители, тъй като критичните натоварвания за сяра са по-ниски от тези за азот.

3. Установено е, че и в трите района, не са превишени критичните натоварвания за кисе-



Фиг. 4. Очаквани моделирани натоварвания за сяра и азот за 2030, 2050 и 2100 г. в Юндола при стартови отлагания за 2003 г., eqha⁻¹год⁻¹

Fig. 4. Target load function for sulfur and nitrogen for 2030, 2050 and 2100 defined by depositions in 2003, eqha⁻¹ year⁻¹.



Фиг. 5. Очаквани моделирани натоварвания за сяра и азот за 2030, 2050 и 2100 г. във Витиня при стартови отлагания за 2003 г., eqha⁻¹год⁻¹

Fig. 5. Target load function for sulfur and nitrogen for 2030, 2050 and 2100 defined by depositions at 2003 in Vitinia, eqha⁻¹ year⁻¹.

линност, сяра и азот от реалните отлагания с валежите и от атмосферата.

4. Адаптиран и приложен е динамичен модел VSD за моделиране на критичните натоварвания за кисляващи замърсители за периода 1987-2020 г. и е установено, че прогнозните натоварвания за сяра и азот и в трите изследвани района (target loads) за 2030, 2050 и 2100 г. са значително по-ниски от критичните натоварвания, но във Витиня разликите между тях са много по-ниски, отколкото в Юндола и Старо Оряхово.

5. Създаден е софтуер за моделиране на критичните натоварвания, които могат да се използват от Министерството на околната среда и водите за устойчиво управление на екосистемите.

Литература

1. Игнатова, Н., К. Йорова, Р. Фикова, 2000. Ролята на рецепторите във водосбора при определяне на критичните натоварвания за кисляващи отлагания. В Юбилеен сборник доклади "75 години Лесотехническо образование в България", с. 321-331.
2. Hettelingh J-P, de Vries W (1992) Mapping Vademecum. Report 259101002, RIVM, Bilthoven.
3. Ignatova N, Jorova K, Grozeva M, Trendafilov K, Tintchev G, Petkova T (1998) Manual on
4. Methodologies for calculation and mapping of critical loads for acidity, sulfur and nitrogen S., Iriss.
5. Ignatova, N., K. Jorova, M. Grozeva, T. Kechajov, I. Stanev, 2001. Calculation and mapping of critical thresholds in Europe. Bulgaria. UN/ECE Status report 2001 N 259101009 (M. Posch, P.A.M. de Smet, J.-P. Hettelingh and R. J. Downing Eds.). RIVM, Netherlands, p. 114-120.
6. Posch M, De Smet PAM, Hettelingh J-P, Downing RJ (eds) (1999) Calculation and mapping of
7. critical thresholds in Europe. RIVM Report 259101009.
8. Posch, M., P.A.M. de Smet, J.-P. Hettelingh and R. J. Downing, 2001. Calculation and mapping of
9. critical thresholds in Europe. UN/ECE Status report 2001 N 259101009, RIVM, Netherlands,
10. Posch M, Hettelingh J-P, Slootweg J (eds) (2003) Manual for Dynamic Modelling of Soil Response
11. to Atmospheric Deposition, RIVM Report 259101012/2003, 71 pp.
12. Sverdrup, H., De Vries W., 1994. Calculating critical loads for acidity with the Simple Mass Balance model. *Water, Air and Soil Pollution*, 72: 143-162.
13. UBA, 1996. Manual on Methodologies and Criteria for Mapping critical Levels/Loads and geographical areas where they are exceeded. UN/ECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution. Umweltbundesamt, Texte 71/96. Berlin.

SUSTAINABLE MANAGEMENT OF ECOSYSTEMS USING DYNAMIC MODELLING OF CRITICAL LOADS FOR POLLUTANTS

Nadka Ignatova, Ivan Myashkov
University of Forestry – Sofia, Bulgaria

ABSTRACT

The critical load is the highest input rate of pollutants below which harmful effects on ecosystems will not occur at the site of interest in a long-term perspective, according to present knowledge. Modeling of target loads for a future period gives the possibility to determine the local reduction of pollutants emission in the aim to protect ecosystems sustainable development and management.

Critical loads of acidifying pollutants have been computed for 3 sites in Bulgaria with different level of pollution using Steady state mass balance method. It has been calculated that there were not exceedences of critical loads of acidity, sulfur and nitrogen by the real depositions measured in 2003.

Target loads for 2030, 2050 and 2100 have been determined by means of Very simple dynamic model. Comparing the critical loads for 2003 with the target loads for 2030, 2050 and 2100 it has been found that exceedences of critical loads of acidifying pollutants are not expected for the period 2003-2100.

The ministry of Environment and waters as well as the Ministry of Agriculture and Forestry could use the modeling procedure obtained in this study for sustainable management of ecosystems in other regions by calculating pollutants emission reduction.