PHOSPHORUS AND CADMIUM TRANSPORT VIA SURFACE RUNOFF IN SONGKHLA LAKE CATCHMENT USING ANNAGNPS AND TREX MODELS

Mr. Kitipan Kitbamroong

A Dissertation Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Doctor of Philosophy Program in Environmental Management
(Interdisciplinary Program)
Graduate School
Chulalongkorn University
Academic Year 2007

การจำลองการเคลื่อนย้ายของฟอสฟอรัสและแคดเมียมโดยน้ำผิวดินในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา
โดยแบบจำลอง AnnAGNPS และ แบบจำลอง TREX

นาย กิติปัญญ์ กิจบำรุง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2550

Thesis Title	PHOSPHORUS AND CADMIUM TRANSPORT VIA SURFACE RUNOFF IN SONGKHLA LAKE CATCHMENT USING ANNAGNPS AND TREX MODELS
By	Mr. Kitipan Kitbamroong
Field of Study	Environmental Management
Thesis Advisor	Assistant Professor Penjai Sompongchaiyakul, Ph.D.
Thesis Co-advisor	Professor G. Padmanabhan, Ph.D.

Accepted by the Graduate School, Chulalongkorn University in Partial Fulfillment of the Requirements for the Doctoral Degree

.... Dean of the Graduate School
(Assistant Professor M.R. Kalaya Tingsabadh, Ph.D.)

THESIS COMMITTEE

.... Chairman
(Manaskorn Rachakornkij, Ph.D.)

.... Thesis Advisor
(Assistant Professor Penjai Sompongchaiyakul, Ph.D.)

.... Thesis Co-advisor (if any)
(Professor G. Padmanabhan, Ph.D.)

.... External Member
(Associate Professor Winai Liengcharernsit, D.Eng.)

.... Member
(Assistant Professor Chakkaphan Sutthirat, Ph.D.)

.... Member
(Assistant Professor Anond Snidvongs, Ph.D.)

นายกิติปัญญ์ กิจบำรุง : การจำลองการเคลื่อนย้ายของฟอสฟอรัสและแคดเมียมโดยน้ำผิวดินในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาโดยแบบจำลอง AnnAGNPS และแบบจำลอง TREX (PHOSPHORUS AND CADMIUM TRANSPORT VIA SURFACE RUNOFF IN SONGKHLA LAKE CATCHMENT USING ANNAGNPS AND TREX MODELS) อ.ที่ปรึกษา: ผ.ศ. เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล, ดร. อ.ที่ปรึกษาร่วม: Prof. G. Padmanabhan, Ph.D. 182 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อจำลองการเคลื่อนย้ายของฟอสฟอรัสและแคดเมียมในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาโดยน้ำผิวดิน ทะเลสาบสงขลาตั้งอยู่ทางภาคใต้ของประเทศไทย ครอบคลุมพื้นที่ 1,042 ตารางกิโลเมตร รองรับน้ำจากพื้นที่รับน้ำทั้งสิ้น 7,687 ตารางกิโลเมตร เนื่องจากเศรษฐกิจของลุ่มน้ำขึ้นอยู่กับเกษตรกรรมเป็นหลัก ปัญหามลพิษประเภทไม่สามารถระบุแหล่งกำเนิดได้จึงเป็นปัญหาที่มีความสำคัญ การไหลหลากของน้ำผิวดินเป็นกลไกหลักในการเคลื่อนย้ายมลพิษประเภทไม่สามารถระบุแหล่งกำเนิดได้ การจำลองการเคลื่อนย้ายมลพิษประเภทนี้จึงนิยมใช้แบบจำลองการกระจายเชิงพื้นที่ การศึกษาครั้งนี้ใช้ Substance Flux Analysis (SFA) ประมาณการปริมาณฟอสฟอรัสและแคดเมียมจากพื้นที่ลุ่มน้ำที่เข้าสู่ทะเลสาบและจำลองการเคลื่อนย้ายของฟอสฟอรัสและแคดเมียมโดยน้ำผิวดินด้วยแบบจำลอง AnnAGNPS และแบบจำลอง TREX โดยแบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำออกเป็น 8 ลุ่มน้ำย่อย ตามผลการวิเคราะห์สภาพพื้นที่ด้วยเทคนิค delineation ในการสร้างแบบจำลอง ทำการปรับเทียบและตรวจสอบแยกกันในแต่ละลุ่มน้ำย่อย พารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับเทียบ ได้แก่ hydraulic conductivity, soil erodibility, flow resistance, crop management factor และ chemical distribution coefficient ผลจากแบบจำลองพบว่า 1 ใน 3 (34%) ของฟอสฟอรัสและแคดเมียม มาจากลุ่มน้ำย่อยอู่ตะเภาและลุ่มน้ำย่อยฝั่งตะวันออก 4 และมาจากลุ่มน้ำย่อยคลองป่าพะยอม-ท่าแนะและลุ่มน้ำย่อยพรุพ้อ-รัตภูมิ ลุ่มน้ำละประมาณ 15% จากการจำลองสถานการณ์ทั้งสิ้น 3 สถานการณ์ คือ ปรับเปลี่ยนปริมาณการใช้ปุ๋ย, ปรับเปลี่ยนสูตรปุ๋ยที่ใช้ และปรับเปลี่ยนชนิดพืชที่ปลูก ผลการจำลองโดยใช้พื้นที่ลุ่มน้ำย่อยอู่ตะเภาและลุ่มน้ำย่อยฝั่งตะวันออก 4 ซึ่งเป็นลุ่มน้ำย่อยให้ฟอสฟอรัสและแคดเมียมมากที่สุด พบว่าเมื่อปรับเปลี่ยนสูตรปุ๋ยที่ใช้จากปุ๋ยสูตรที่มีแคดเมียมสูง (3 mg-Cd/kg) ไปเป็นสูตรที่มีแคดเมียมต่ำ (1 mg-Cd/kg) ทำให้แคดเมียมที่เคลื่อนย้ายเข้าสู่ทะเลสาบลดลงถึง 5 เท่า ผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าการปรับเปลี่ยนสูตรปุ๋ยฟอสเฟตเป็นวิธีการลดปริมาณแคดเมียมที่เข้าสู่ทะลสาบอย่างมีประสิทธิผล ให้ผู้ที่มีอำนาจตัดสินใจ และ/หรือ นักวางแผน ควรใช้ข้อมูลนี้ประกอบการพิจารณาในการวางแผนและการส่งเสริมการเกษตร

สาขาวิชา .การจัดการสิ่งแวดล้อม............. ลายมือชื่อนิสิต ....

ปีการศึกษา 2550 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ....

4689654920: MAJOR ENVIRONMENTAL MANAGEMENT

KEY WORD: NON-POINT SOURCE POLLUTION/SONGKHLA LAKE BASIN/SUBSTANCE FLUX ANALYSIS / PHOSPHORUS CONTAMINATION /CADMIUM CONTAMINATION

KITIPAN KITBAMROONG: PHOSPHORUS AND CADMIUM TRANSPORT VIA SURFACE RUNOFF IN SONGKHLA LAKE CATCHMENT USING ANNAGNPS AND TREX MODELS THESIS ADVISOR : ASST. PROF. PENJAI SOMPONGCHAIYAKUL, PH.D. THESIS COADVISOR: PROF. G. PADMANABHAN, PH.D. 182 PP.

The objective of this research is to model transport of phosphorus and cadmium via surface runoff from its catchments to Songhkla Lake. The lake is located in southern Thailand covering an area of 1,042 km^2 with a drainage area of 7,687 km^2. As economy in the area based on agriculture, non-point source pollution loading from the surrounding drainage area to the lake is of great concern. Surface runoff is considered as a major mechanism to transport non-point source pollutants. To model non-point source pollution transport via surface runoff, spatially distributed parameter models are commonly used. In this study, Substance Flux Analysis (SFA) was used as a tool to obtain better estimates of potential phosphorus and cadmium loadings from the catchment. AnnAGNPS and TREX models were used to simulate the transport of phosphorus and cadmium from the drainage area to the lake. The catchment was divided into 8 sub-watershed based on delineation results and individually modeled, calibrated and validated. The selected parameters for calibration include hydraulic conductivity, soil erodibility, flow resistance, crop management factor and chemical distribution coefficient. The results obtained from validation process reveal the relative loadings of phosphorus and cadmium from different parts of the watershed. Almost one third of the phosphorous and cadmium were contributed from U-Tapao and Eastern Coast #4 sub-watersheds (34%). Klong Pa Payom & Thanae and Phru Poh & Rattaphum sub-watersheds contributed at approximately 15% each. Three scenarios, comprises of change of fertilizer application rate, change of fertilizer type, and change of crop types, were conducted in the most contributed sub-watershed, U-Tapao and Eastern Coast #4. The scenarios demonstrated the changing of fertilizer type from high cadmium type (3 mg-Cd/kg) to low cadmium type (1 mg-Cd/kg) leads to 5 times declining of cadmium load to the lake. This information suggests an effective approach to minimize cadmium loadings by changing of phosphate fertilizer type. Decision makers and/or planners should take this information into account when making a consideration for crops planning or agricultural extension.

Field of study Environmental Management Student's signature...Kitipan Kitbamroong...

Academic year 2007 Advisor's signature......................................

Co-advisor's signature......................................

ACKNOWLEDGEMENTS

The author wishes to express his deepest appreciation to Assistant Professor Dr. Penjai Sompongchaiyakul and Professor Dr. G. Padmanabhan, the author's major advisers, for their guidance, constructive criticism, encouragement and friendship received throughout the course of this study.

Acknowledgement is due to the author's advisory committee: Assistant Professor Dr. Chakkaphan Sutthirat, Assistant Professor Dr. Anond Sanitwongs na Ayutthaya and Associate Professor Dr. Winai Liengcharernsit whose valuable criticisms make this dissertation possible.

My former colleagues from the Faculty of Environment Management, Prince of Songkla University and International Postgraduate Programs in Environmental Management (Hazardous Waste Management), National Center of Excellence for Evironmental and Hazardous Waste supported me in my research work. I want to thank them for all their help, support, interest and valuable hints. Especially I am obliged to Kanyanit Leekpai and Hirunwadee Suviboon for their assistance and support.

The financial support for the author's graduate program, provided by National Center of Excellence for Evironmental and Hazardous Waste, is gratefully acknowledged.

Gratitude is especially expressed to his parents, whose ambitions are always their children's good education.

TABLE OF CONTENTS

PAGE

PAGE

PAGE

LIST OF TABLES

PAGE

LIST OF TABLES

PAGE

LIST OF FIGURES

PAGE

LIST OF FIGURES

PAGE

LIST OF FIGURES

PAGE

List of Symbols

a	experimentally determined constant for flocculation
A_c	cross sectional area of flow [L^2]
A_s	surface area [L^2]
B_e	width of eroding surface in flow direction [L]
B_x, B_y	flow width in the x- or y-direction [L]
$\hat{C}$	USLE soil cover factor [dimensionless]
C_c, C_{c1}	total chemical concentration in the water column [M/L^3]
C_{cb}, C_{c2}	total chemical concentration in the soil or sediment bed [M/L^3]
C_s	concentration of sediment particles in the water column [M/L^3]
C_{sb}	concentration of sediment particles in the soil or sediment bed [M/L^3]
C_t	concentration of entrained sediment particles at the transport capacity [M/L^3]
C_w	concentration of entrained sediment particles by weight at the transport capacity [dimensionless]
d_f	median floc diameter (μm) [L]
d_p	particle diameter [L]
$d*$	dimensionless particle diameter [dimensionless]
D	diffusion coefficient [L^2/T]
D_e	DOC-binding effectiveness coefficient [dimensionless]
$D\frac{\partial C_s}{dx}$	diffusive flux the x-direction [M/L^2T]
$D\frac{\partial C_s}{dy}$	diffusive flux the y-direction [M/L^2T]
E	evaporation rate [L/T]
f	infiltration rate [L/T]
F	cumulative (total) infiltrated water depth [L]
f_b	fraction of the total chemical in the bound phase [dimensionless]
f_{b1}	fraction of the total chemical in bound phase in the water column

	[dimensionless]
f_d	fraction of the total chemical in dissolved phase [dimensionless]
f_{d1}	fraction of the total chemical in dissolved phase in the water column [dimensionless]
f_{m1}	fraction of the total chemical in the mobile phase in the water column [dimensionless] = $f_{b1} + f_{d1}$
foc_D	fraction organic carbon of DOC [dimensionless]
foc_n	fraction organic carbon of particle "n" [dimensionless]
fp_n	fraction of the total chemical in the particulate phase associated with particle "n" [dimensionless]
$fp1_n$	fraction of the total chemical in particulate phase associated with particle "n" in the water column [dimensionless]
$fp2_n$	fraction of the total chemical in particulate phase associated with particle "n" in the sediment column [dimensionless]
g	gravitation acceleration [L/T^2]
G	particle specific gravity [dimensionless]
h	surface water depth (flow depth of water column) [L]
H_c	capillary pressure (suction) head at the wetting front [L]
H_w	hydrostatic pressure head of water (depth of water in channel) [L]
$\lfloor H^+ \rfloor$	hydronium ion concentration (activity)
i_e	excess precipitation rate [L/T]
i_g	gross precipitation rate [L/T]
i_n	net (effective) rainfall rate at the surface [L/T]
J_c	sediment transport capacity areal flux [M/L^{2}T]
J_d	deposition flux [M/L^2/T]
J_{dc}	chemical deposition flux [M/L^{2}T]
$\hat{J}_d$	sediment deposition volumetric flux [M/L^{3}T]
J_e	erosion flux [M/L^{2}T]
J_{ec}	chemical erosion flux [M/L^{2}T]

$\hat{J}_e$	sediment erosion volumetric flux [M/L^3T]
J_{ic}	chemical infiltration flux [M/L^2T]
$\hat{J}_n$	net sediment transport volumetric flux [M/L^3T]
J_{xc}, J_{yc}	chemical advective flux in the x- or y-direction [M/L^2T]
$\hat{K}$	USLE soil erodibility factor [dimensionless]
K_d	chemical distribution coefficient [L^3/M]
K_h	effective hydraulic conductivity [L/T]
K_p	chemical partition coefficient [L^3/M]
K_{oc}	Koc organic carbon normalized partition coefficient [L^3/M]
L_c	length of channel in flow direction [L]
m	experimentally determined constant for flocculation
m_n	concentration of particle "n" [M/L^3]
n	Manning roughness coefficient [$T/L^{1/3}$]
P	probability integral for the Gaussian distribution
P_c	wetted perimeter of channel flow [L]
$\hat{P}$	USLE soil management practice factor [dimensionless]
P_{dep}	probability of deposition [dimensionless]
pH	$-\log[H^+]$
q	unit flow rate of water = $v_a h$ [L^2/T]
Q	total discharge [L^3/T]
q_c	critical unit flow for erosion (for the aggregate soil matrix) [L^2/T]
q_l	lateral unit flow from overland plane to channel (floodplain) [L^2/T]
q_s	total sediment transport capacity (kg/m s) [M/LT]
q_x, q_y	unit discharge in the x- or y-direction = $Q_x / B_x, Q_y / B_y$ [L^2/T]
Q_x, Q_y	flow in the x- or y-direction [L^3/T]
$\hat{q}_{tx}, \hat{q}_{ty}$	total sediment transport areal flux in the x- or y-direction [M/L^2T]
R	Retardation factor [dimensionless]

R_h	hydraulic radius of flow = A_c / P [L]
R_x, R_y	dispersion (mixing) coefficient the x- or y-direction [L^2/T]
$R_x \frac{\partial C_s}{dx}$	dispersive flux the x-direction [M/L^2T]
$R_y \frac{\partial C_s}{dy}$	dispersive flux the y-direction [M/L^2T]
S_e	effective soil saturation [dimensionless]
S_f	friction slope [dimensionless]
S_{fx}, S_{fy}	friction slope (energy grade line) in the x- or y-direction [dimensionless]
S_i	interception capacity of projected canopy per unit area [L^3/L^2]
S_0	ground surface slope [dimensionless]
S_{0x}, S_{oy}	ground surface slope in the x- or y-direction [dimensionless]
t	time [T]
T	cumulative (total) depth of water transported by transmission loss [L]
t_l	transmission loss rate [L/T]
t_R	precipitation event duration [T]
$u*$	shear velocity [L/T]
v_a	advective (flow) velocity (in the x- or y-direction) [L/T]
v_c	critical velocity for for soil or sediment erosion [L/T]
v_f	flow velocity between overland plane and channel (floodplain) [L/T]
v_g	gross precipitation water volume [L^3]
v_i	infiltration rate or transmission loss velocity of water [L/T]
V_i	interception volume [L^3]
V_n	net precipitation volume reaching the surface [L^3]
v_r	resuspension (erosion) velocity [L/T]
v_s	quiescent settling velocity [L/T]
v_{se}	effective settling (deposition) velocity [L/T]

v_{sf}	floc settling velocity (cm/s) [L/T]
v_r	resuspension (erosion) velocity [L/T]
v_x, v_y	advective (flow) velocity in the x- or y-direction [L/T]
$v_x C_s$	advective flux in the x-direction = Jx [M/L^{2}T]
$v_y C_s$	advective flux in the y-direction = Jy [M/L^{2}T]
V_s	volume of sediments [L^3]
V_w	volume of water [L^3]
W	unit discharge from/to a point source/sink [L^2/T]
$\hat{W}_s$	sediment point source/sink volumetric flux [M/L^{3}T]
$W_{w,s,c}$	material point source/sink: water [L^3/T], solids, or chemical [M/T]
z	elevation of the soil surface or sediment bed [L]
α_x, α_y	resistance coefficient for flow in the x- or y-direction [L$^{1/3}$/T]
β	resistance exponent = 5/3 (assuming Manning resistance) [dimensionless]
v	kinematic viscosity of water [L^2/T]
v_x	particle interaction parameter [dimensionless]
ω_0	settling velocity [L/T]
ρ_b	bulk density of soil or bed sediments [M/L^3]
τ_0	bottom shear stress (M/LT^2)
$\tau_{cd,c}$	critical shear stress for deposition of cohesive particles, defined as the shear stress at which 100% of the particles deposit (M/LT^2)
$\tau_{cd,n}$	critical shear stress for deposition of non-cohesive particles, defined as the shear stress at which 50% of particles deposit (M/LT^2)
φ	total soil porosity [dimensionless]
θ_e	effective soil or sediment porosity = (φ - θ_r) [dimensionless]
θ_r	residual soil or sediment moisture content [dimensionless]
σ	experimentally determined constant for deposition
π_b	equilibrium binding coefficient [L^3/M]

π_{p_n}	equilibrium partition (distribution) coefficient for particle "n" $[L^3/M]$
π_{px_n}	particle-dependent partition coefficient $[L^3/M]$
$s\|_{t+dt}$	value of model state variable at time t+dt [L] or $[M/L^3]$
$s\|_{t}$	value of model state variable at time t [L] or $[M/L^3]$
$\left.\frac{\partial s}{\partial t}\right\|_{t+dt}$	value of model state variable derivative at time t [L/T] or $[M/L^3T]$