

TEHNICI SOFTWARE DE SIMULARE DINAMICĂ A CALITĂȚII APEI ÎN SISTEMELE DE TIP „RÂU”

*Drd., lector superior
Galina MARUSIC*

Universitatea Tehnică a Moldovei

SOFTWARE TECHNIQUES FOR DYNAMIC
SIMULATION OF THE WATER QUALITY IN
„RIVER-TYPE” SYSTEMS

Summary: This paper deals with the problem of water quality in the river type systems. It presents an analysis of software packages of dynamic simulation of surface water quality, for example: WASP (Water Quality Analysis Simulation Program), QUAL2E, ANSYS CFX (Computational Fluid Dynamics Software), GWLF (Generalised Watershed Loading Function), MONERIS (Modelling Nutrient Emissions in River Systems), WQRRS (Water Quality for River Reservoir Systems), WMS (Watershed Modeling System), SMS (Surface-water Modeling System). The most optimal system, SMS, is highlighted. It is presented a study case of modeling the spatio-temporal evolution of pollutants using SMS.

Keywords: river, pollutants, water quality, dynamic simulation, software techniques, field concentrations.

Rezumat: Lucrarea abordează problema calității apei în sistemele de tip „râu”. Se prezintă o analiză a pachetelor software de simulare dinamică a calității apelor de suprafață, așa ca: WASP (Water Quality Analysis Simulation Program), QUAL2E, ANSYS CFX (Computational Fluid Dynamics Software), GWLF (Generalised Watershed Loading Function), MONERIS (Modelling Nutrient Emissions in River Systems), WQRRS (Water Quality for River Reservoir Systems), WMS (Watershed Modeling System), SMS (Surface-water Modeling System). Se evidențiază cel mai optim sistem – SMS. Se prezintă un studiu de caz de modelare a evoluției spațio-temporale a poluanților cu utilizarea SMS.

Cuvinte-cheie: râu, poluanți, calitatea apei, simularea dinamică, tehnici software, câmpul de concentrații.

1. Introducere

Sistemele acvatice de tip „râu” reprezintă o componentă importantă pentru existența, activitatea și dezvoltarea umană. Aducerea și menținerea calității

ții apei la o stare *foarte bună* este scopul primordial al Directivei Cadru Apă 2000/60/EC, aprobată de către Comisia Europeană [1]. Atingerea lui reclamă determinarea corectă a evoluției spațio-temporale a calității apei, întreprinderea măsurilor necesare pentru îmbunătățirea calității apei, prevenirea situațiilor excepționale de poluare a sistemelor acvatice. O condiție indispensabilă pentru realizarea acestor obiective îl constituie tehnicile software de simulare dinamică a proceselor ce se produc în sistemele acvatice [2].

2. Simularea numerică a calității apei în sistemele de tip „râu”

Evoluția spațio-temporală a proceselor în sistemele de tip „râu” poate fi cu succes determinată cu ajutorul tehnicilor software de simulare dinamică. În ultimul timp, tot mai multe companii, majoritatea din SUA, elaborează și dezvoltă softuri în domeniul respectiv. Printre acestea se numără Agenția de Protecție a Mediului din SUA (programele WASP, QUAL2E), compania ANSYS din Canonsburg, Pennsylvania, SUA (programul ANSYS CFX), Centrul de Cercetare pentru Agricultură și Centrul pentru Resurse Naturale din SUA (programul AGNPS), Compania MapTech din Blacksburg, statul Virginia, SUA (programul GWLF), Institutul de Ecologie a Apei Dulci și a Pescuitului în Apele Interioare, Berlin, Germania (programul MONERIS), Centrul de Inginerie Hidrologică a Armatei din SUA (programul WQRRS), compania Aquaveo din SUA (programele WMS, SMS) ș. a.

În cele ce urmează vom face o succintă trecere în revistă a programelor enumerate.

WASP – se folosește pentru determinarea și predicția calității apei. Permite utilizatorului să simuleze scenarii de dispersie pentru o varietate de poluanți. Poate fi conectat cu modelele de hidrodinamică și de transport ale sedimentelor. A fost folosit pentru evaluarea încărcării cu fosfor a lacului Okeechobee din statul Florida, Statele Unite ale Americii, eutrofizării râului Coosa din SUA, poluării estuarului râului James din statul Virginia, SUA, poluării cu metale grele a râului Deep din Carolina de Nord, SUA ș. a. [3].

QUAL2E – un model unidimensional de calitate a apei. A fost dezvoltat pentru un flux constant și condiții stabile de încărcare cu poluanți. Simulează poluarea punctiformă și difuză, ciclurile de nutrienți, producțiile de alge [4]. Acest program a fost utilizat în diferite părți ale lumii: Georgia (Florida) [5], Spania [6], Chile [7] ș.a.

ANSYS CFX – un program de simulare a fluidelor. Se aplică timp de mai mult de 20 de ani în

diferite industrii. Are o interfață grafică modernă și susține o gamă largă de modele fizice. La obținerea soluției se folosește metoda elementelor finite. O soluție obținută poate fi utilizată la o altă modelare [8]. Rezultatele aplicării **ANSYS CFX** pentru râurile Argeș și Dâmbovița din România în scopul obținerii modelului numeric a dispersiei poluanților se prezintă în lucrarea [9].

AGNPS – un sistem de management în cadrul bazinelor hidrografice cu privire la impactul asupra calității apei a poluanților chimici și a sedimentelor. Este compus din 3 componente: *hidrologie*, care permite predicția debitului maxim; *eroziunea solului* – include eroziunea solului și sedimentare și *poluarea cu nutrienți* – analizează concentrațiile de azot, fosfor și consumul chimic de oxigen [10]. Un studiu de caz de aplicare a **AGNPS** la determinarea calității apei se prezintă în lucrarea [11].

GWLF – un model de predicție a încărcării lunare a bazinelor hidrografice cu nutrienți (inclusiv cu azot și fosfor) și sedimente. Modelul consideră bazinul hidrografic ca o singură unitate și calculează încărcarea de la toate terenurile apropiate de bazin. Modelul este bazat pe presupunerea că relația dintre eroziune și transportul de sediment variază lunar. Este un model de simulare continuu, care folosește pentru calcule datele meteorologice zilnice [12]. Un studiu de caz de aplicare a **GWLF** în SUA se prezintă în lucrarea [13].

MONERIS – se folosește pentru calcularea încărcării bazinelor hidrografice cu azot și fosfor din surse punctiforme și difuze. A fost dezvoltat și aplicat pentru bazinele râurilor din Germania în scopul determinării poluării acestora cu nutrienți din surse punctiforme și difuze. Modelul se bazează pe datele de flux și ale calității apei, precum și pe un sistem informațional geografic (GIS). Emisiile difuze în apele de suprafață sunt împărțite pe componente, deoarece concentrațiile de nutrienți și procesele corespunzătoare diferă de la un flux la altul [14, 15, 16].

WQRRS – a fost elaborat pentru evaluarea calității apelor de suprafață în funcție de fluxul de intrare/ieșire. Este capabil să analizeze 18 parametri diferiți de calitate a apei: fizici, chimici și biologici cu privire la lacuri, râuri și sisteme lac-râu. Este compus din 3 module separate: modulul de rezervor, modulul de lac, modulul de calitate a fluxului. Primele 2 module pot fi executate, analizate și interpretate independent. Toate 3 module pot fi integrate într-un sistem pentru a efectua o analiză a calității apei într-un sistem acvatic de tip „râu” [17].

WMS – este un sistem grafic de simulare a bazinelor hidrografice și hidraulice în spațiu bidimensi-

onal. Poate fi folosit pentru a modela atât cantitatea, cât și calitatea apei. WMS a fost elaborat la începutul anilor 1990, la Universitatea Brigham Young, SUA. La momentul actual compania principală de dezvoltare a acestui soft este Aquaveo din SUA [18]. A fost folosit în Rusia [19], Turcia [20], Iran [21] ș. a.

SMS – fusese elaborat de către specialiștii companiei *Aquaveo* din SUA. Conține o gamă largă de modele numerice pentru aplicații, care include hidrodinamica râurilor, inundațiile din mediul rural și urban, modelarea valurilor, urmărirea dinamicii și a proprietăților fizice a particulelor apei, determinarea și analiza dispersiei poluanților. Determinarea câmpului de concentrații al poluanților se realizează în 2 etape: mai întâi se determină hidrodinamica sectorului modelat cu ajutorul unui modul din SMS sub denumirea RMA2, apoi, folosind datele obținute în funcție de datele de intrare pentru modulul RMA4, se calculează câmpul de concentrații [22, 23, 24]. Rezultatele obținute în urma simulării sunt utile pentru determinarea evoluției spațio-temporale a sectorului de râu studiat, precum și pentru evaluarea corectă a calității apei.

Dintre programele enumerate, cel mai util pentru simularea numerică a proceselor în sistemele de tip „râu” este SMS, deoarece permite o gestionare eficientă a întregului proces de modelare a apelor de suprafață: de la importul de date topografice până la determinarea, vizualizarea și analiza soluțiilor. Studii de caz cu aplicarea acestui sistem se prezintă în lucrările [25, 26, 27, 28, 29].

3. Studiu de caz – determinarea câmpului de concentrații ale produselor petroliere cu ajutorul SMS

Pe data de 16.05.2013, pe un sector al râului Prut din localitatea Ungheni, Republica Moldova, s-a înregistrat o depășire a CMA (concentrația maximă admisibilă) a produselor petroliere (CMA este de 0,05 mg/L) [30].

Pentru determinarea evoluției spațio-temporale a dispersiei și a transportului poluantului menționat, s-a efectuat modelarea numerică a sectorului studiat. În acest scop s-a ales sistemul SMS, în care, de pe site-ul www.wikimapia.org, a fost importată imaginea digitală a sectorului studiat (fig.1).

Imaginea fusese direct digitalizată în sistemul SMS prin crearea obiectelor cu parametri (puncte, arce și poligoane), cu ajutorul cărora a fost divizat în trei sectoare (râul, malul drept, malul stâng) și format un strat de acoperire (fig. 2).

La prima etapă, a fost modelată hidrodinamica sectorului studiat cu ajutorul unui modul din SMS



Fig. 1. Evidențierea sectorului modelat

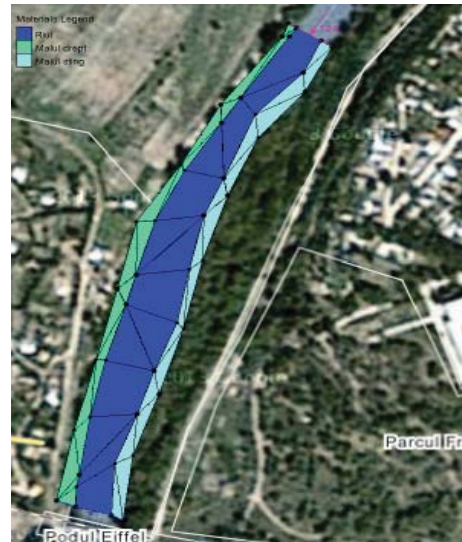


Fig. 2. Reprezentarea profilului în 2D

sub denumirea RMA2. Acest modul se bazează pe ecuațiile lui Navier-Stokes sub forma Reynolds (1) și (2) ecuația de continuitate (3):

$$h \frac{\partial u}{\partial t} + hu \frac{\partial u}{\partial x} + hv \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{h}{\rho} \left(E_{xx} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + E_{yy} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + gh \left(\frac{\partial H}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{g u n^2}{(h^{1/6})^2} \times (u^2 + v^2)^{1/2} - \zeta V_a^2 \sin \psi + 2h \omega v \sin \phi = 0 \quad (1)$$

$$h \frac{\partial v}{\partial t} + hu \frac{\partial v}{\partial x} + hv \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{h}{\rho} \left(E_{xx} \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + E_{yy} \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + gh \left(\frac{\partial H}{\partial y} + \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{g v n^2}{(h^{1/6})^2} \times (u^2 + v^2)^{1/2} - \zeta V_a^2 \sin \omega + 2h \omega v \sin \phi = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} + h \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) + u \frac{\partial h}{\partial x} + v \frac{\partial h}{\partial y} = 0 \quad (3)$$

unde: h – adâncimea apei (m); u – viteza locală în direcția x (m/s); v – viteza locală în direcția y (m/s); t – timpul (s); ρ – densitatea apei (kg/m^3); E – coeficientul de viscozitate turbulentă ($\text{Pa}\cdot\text{s}$ sau $\text{kg/m}\cdot\text{s}$);

g – accelerația gravitațională (m/s^2); H – cota geodezică a patului albiei (m); n – coeficientul Manning al rugozității; ζ – coeficientul empiric referitor la frecarea cu aerul; V_a – viteza vântului (m/s); ψ – direcția vântului; ω – viteza unghiulară de rotație a Pământului (rad/s); ϕ – latitudinea locului [23].

Efectele turbulenței au fost reflectate prin folosirea coeficienților de difuzie turbulentă în direcțiile x și y , care au fost calculați prin utilizarea numărului Peclet :

$$Pe = \frac{U dx}{D} \quad (4)$$

unde: U – viteza rezultantă medie; dx – elementul de lungime în direcția fluxului; D – coeficientul de difuzie turbulentă.

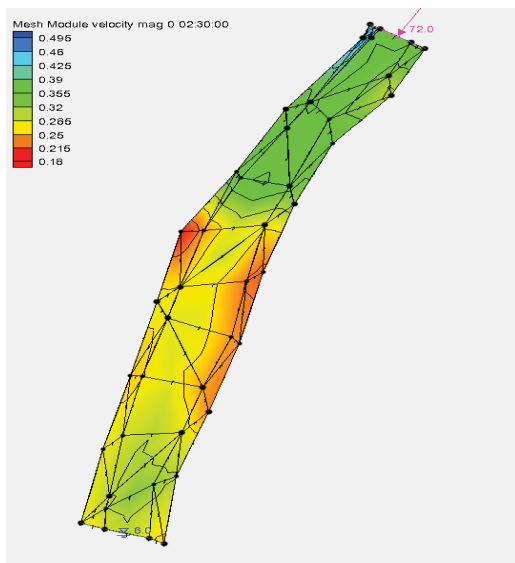


Fig. 3. Distribuția vectorilor vitezelor rezultante

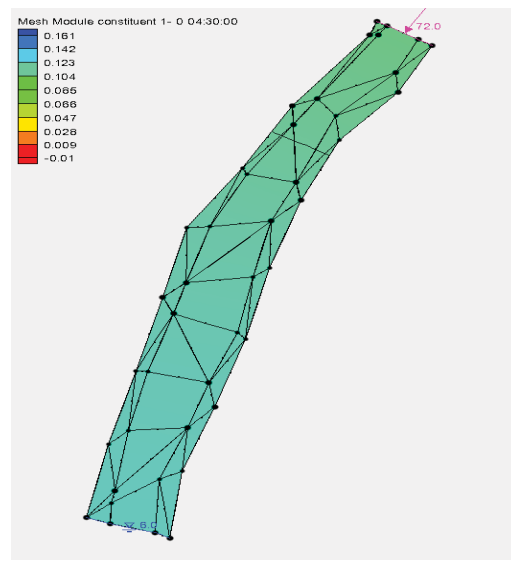


Fig. 4. Distribuția câmpului de concentrații ale poluantului după 4 ore și 30 min din momentul confluenței cu apa

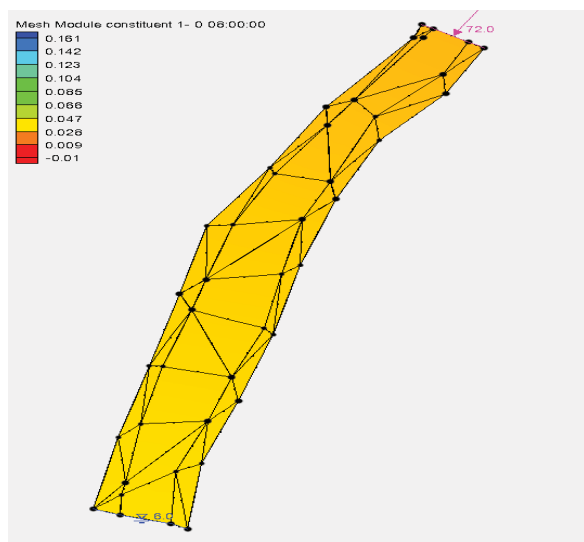


Fig. 5. Distribuția câmpului de concentrații ale poluantului după 8 ore din momentul confluenței cu apa

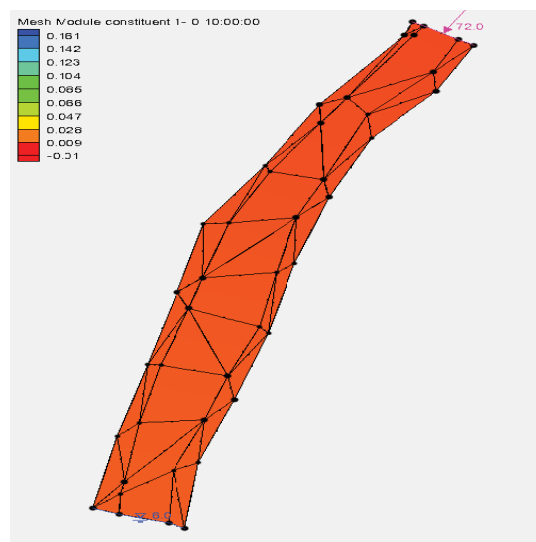


Fig. 6. Distribuția câmpului de concentrații ale poluantului după 10 ore din momentul confluenței cu apa

Au fost stabilite următoarele condiții la limită: debit $Q = 72 \text{ m}^3/\text{s}$ și cota geodezică $H = 6 \text{ m}$.

Pentru modelare au fost folosite: simulări pe secțiunea reală a râului de lungime 631 m, densitatea constantă a apei (1000 kg/m^3), numărul Peclet egal cu 20. Valorile recomandate pentru Pe sunt cuprinse între 15-40.

În toate elementele finite ale geometriei domeniului studiat s-au determinat adâncimile h și vitezele locale în direcțiile x și y (inclusiv viteza rezultantă U). Câmpul vitezelor rezultante se prezintă în figura 3.

La etapa a doua s-a determinat evoluția câmpului de concentrații ale produselor petroliere. Pentru aceasta a fost folosit un alt modul din SMS cu denumirea RMA4, care se bazează pe forma bidimensională a ADE, aplicată la curgerea în regim turbulent:

$$h \left(\frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial x} + v \frac{\partial c}{\partial y} - \frac{\partial}{\partial x} D_x \frac{\partial c}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial y} D_y \frac{\partial c}{\partial y} - s + k + \frac{R(c)}{h} \right) = 0 \quad (5)$$

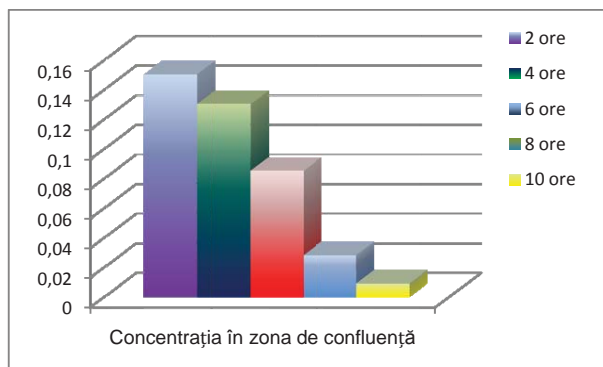


Fig. 7. Concentrația poluantului în zona de confluență la diferite intervale de timp, axa Oy – valoarea concentrației (mg / L).

unde c – concentrația de poluant (mg/L), D_x și D_y – coeficienții de difuzie turbulentă în direcțiile x și y , k – constanta de degradare (s^{-1}); σ – termenul sursă locală de poluant (unitatea de măsură a concentrației/s); $R(c)$ – precipitații/evaporație (unitatea de măsură a concentrației $\times \text{m/s}$) [24].

Rezultatele obținute la prima etapă cu ajutorul RMA2 au servit ca date de intrare pentru modulul RMA4. Pentru modelare a fost folosită valoarea concentrației produselor petroliere de $0,16 \text{ mg/L}$. Această probă a fost prelevată de către Serviciul Hidrometeorologic de Stat din Republica Moldova pe 16.05.2013 [30].

În urma simulării a fost determinat câmpul de concentrații ale produselor petroliere în toate elementele finite ale sectorului studiat.

Unele din rezultatele obținute la etapa a doua sunt prezentate în figurile 4, 5, 6.

Din figura 4 se observă o micșorare a concentrației poluantului pe tot sectorul studiat.

Din fig. 6 se observă că după 10 ore concentrația poluantului s-a micșorat, distribuindu-se uniform pe sectorul studiat. Din calcule s-a constatat că după 10 ore transportul de poluant a devenit staționar.

Evoluția temporală a concentrației produselor petroliere în zona de confluență se prezintă în fig. 7.

Evoluția temporală a concentrației produselor petroliere la malul stâng se prezintă în fig. 8.

Concluzii

În urma efectuării studiului cu privire la tehnicile software de simulare dinamică a calității apei în sistemele de tip „râu”, s-a constatat că cel mai eficient și comod este SMS, deoarece permite modela-

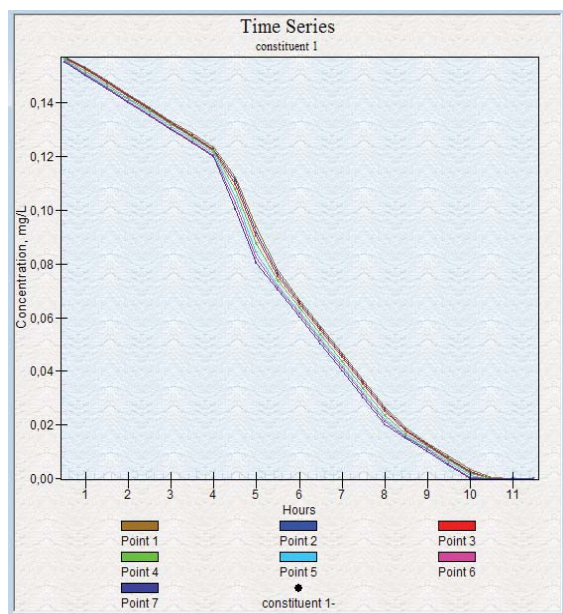


Fig.8. Concentrația poluantului la malul stâng la diferite intervale de timp

rea integrală a proceselor în sistemele de tip „râu”: de la importul de date topografice până la obținerea modelelor numerice. Conține o gamă largă de module și opțiuni de vizualizare și analiză a soluțiilor determinate.

Studiul de caz prezentat demonstrează încă o dată eficiența și importanța folosirii acestui sistem la modelarea dispersiei și transportului poluanților în apele de suprafață. Cunoașterea evoluției spațio-temporale a poluanților ne va permite efectuarea unei prognoze mai corecte a calității apei, precum și oferirea unor predicții bine argumentate ale fenomenelor excepționale de poluare a apei.

Bibliografie

1. *** Directiva Parlamentului European și a Consiliului Uniunii Europene 2000/60/EC de stabilire a unui cadru de politică comunitară în domeniul apei, 2000.
2. Marusic G. Study on numerical modeling of water quality in „river-type” systems. În: Meridian Ingineresc, 2013, Nr. 2, p. 38 – 42.
3. Water Quality Analysis Simulation Program (WASP) <http://www.epa.gov/athens/wwqtsc/html/wasp.html>
4. River and Stream Water Quality Model (QUAL2K). <http://epa.gov/athens/wwqtsc/html/qual2k.html>
5. Brown L. C., Barnwell T. O. The enhanced stream water quality models QUAL2E and QUAL2E-UNCAS: documentation and user manual. Env. Res. Laboratory. US EPA, EPA /600/3-87/007, Athens, GA., 1987, p. 189.
6. Cubillo F., Rodriguez B., Barnwell, T. Jr. A system for control of river water quality for the community of Madrid using QUAL2E. In: Wat. Sci. Tech., 1992, Vol. 26, no. 7-8, p. 1867-1873.

7. Dussailant A. ș. a. Water quality modelling of Mapocho River, Chile, using QUAL2E-UNCAS. Water pollution IV. Modelling, measuring and prediction. Computational Mechanics Publications, 1997, p. 349.
8. <http://www.ansys.com/Products/Simulation+Technology/Fluid+Dynamics/Fluid+Dynamics+Products/ANSYS+CFX#/0>
9. Mocanu C., Fodor D. Simularea numerică a dispersiei poluanților în cursurile naturale, În: Ecoterra, 2011, No. 28, p. 119-125.
10. Model Bingner R. L., Theurer F. D. 2009. AGNPS Web Site. Internet at <http://www.ars.usda.gov/Research/docs.htm?docid=5199>.
11. Koelliker J.K. ș. a. Applicability of AGNPS model for water quality planning, In: Am. Soc. of Agric. Engrs., 1989, p. 13.
12. Douglas A. Halth et al. GWLF. Generalised Watershed Loading Function. Version 2.0. User’s manual. Cornell University, 1992.
13. Schneiderman Elliot M. et al. Modeling the hydrochemistry of the Cannonsville watershed with GENERALIZED WATERSHED LOADING FUNCTIONS (GWLF)†, In: Journal of the American Water Resources Association, 2002, Vol. 38, No. 5, Paper No. 01032, p. 1323–1347.
14. Horst Behrendt et al. Nutrient Emissions into River Basins of Germany. Institute of Freshwater Ecology and Inland Fisheries. Summary, 1999.
15. Berlekampa J. et al. Integration of MONERIS and GREAT-ER in the decision support system for the German Elbe river basin, In: Journal Environmental Modelling & Software, 2007, Vol. 22, Issue 2, p. 239–247.
16. Venohr M. et al. Modelling of Nutrient Emissions in River Systems – MONERIS – Methods and Background. In: International Review of Hydrobiology, 2011, Vol. 96, Issue 5, p. 435–83.
17. Hydrologic Engineering Center, US Army Corps of Engineers. WQRRS (Water Quality for River Reservoir Systems). User’s manual. CPD-8. October 1987 (Revised 1986). USA.
18. Watershed Modeling System, Web Site. Internet at <https://www.aquaveo.com/software/wms-watershed-modeling-system-introduction>
19. Danchev V. N., Pushistov P. Yu. Experience and results of the development of information and computational complex for simulation of hydrodynamics and water quality of rivers and lakes OB basin. Part 2 – Lake Teletskoye and section of the river Chulyshman. În: Вестник Бурятского государственного университета. 2012, No. 9, p. 154 – 161
20. Ali Erturka et. al. Application of Watershed Modeling System (WMS) for Integrated Management of a Watershed in Turkey, In: Journal of Environmental Science and Health, Part A: Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering, 2006, Vol. 41, Issue 9, p. 2045-2056.
21. Seyedeh S. Sadrolashrafi, Thamer A. Mohamed, Ahmad R.B. Mahmud, Majid K. Kholghi and Amir Sa-

medi, Integrated Modeling for Flood Hazard Mapping Using Watershed Modeling System. American Journal of Engineering and Applied Sciences. Volume 1, Issue 2, p. 149-156.

22. *** „SMS Tutorials”, SMS v.10.1.11, AquaVeo, 2011.

23. *** „Surface Water Modeling System - RMA2”, US Army Engineer Research and Development Center.

24. *** „Surface Water Modeling System - RMA4”, US Army Engineer Research and Development Center.

25. G. Marusic, I. Sandu, V. Moraru, C. Filote, C. Ciufudean ș. a. Fluoride Dispersion Modeling for „RIVER-TYPE” Systems. În: Meridian Ingineresc, 2012, Nr. 4, p. 28 – 32.

26. G. Marusic, V. Moraru. Modelarea matematică a transportului poluanților pe un sector al râului Prut, Materialele Conferinței Internaționale MODELARE MATEMATICĂ, OPTIMIZARE ȘI TEHNOLOGII INFORMAȚIONALE, EDIȚIA A III-A, Chișinău, Academia de Transporturi, Informatică și Comunicații, 19 – 23 martie 2012, vol. III, p. 86 – 98.

27. Galina Marusic, Ion Sandu, Vasile Moraru ș. a. Software for modeling spatial and temporal evolution of river-type systems, Proceedings of the 11th International Conference on DEVELOPMENT AND APPLICATION SYSTEMS, Suceava, Romania, May 17-19, 2012, p. 162 – 165.

28. Galina Marusic, Constantin Filote, Calin Ciufudean, The spatial - temporal evolution of iron dispersion in „river-type” systems, Proceedings of the 17th WSEAS International Conference on APPLIED MATHEMATICS (AMATH '12), Montreux, Switzerland December 29-31, 2012, p. 95 – 98.

29. Galina Marusic, Calin Ciufudean. Current state of research on water quality of Prut River, În: ADVANCES in ENVIRONMENT, ECOSYSTEMS and SUSTAINABLE TOURISM, Proceedings of the 11th International Conference on Environment, Ecosystems and Development (EED '13), Romania, Brasov, June 1-3, 2013, p. 177 – 180.

30. ***<http://www.meteo.md/mold/anulcurent.htm>.



Iurie Platon. *Europa*, u/p, 1500×2300, 2002