



Получена: 01.12.2020 г.

Приета: 14.12.2020 г.

ОЦЕНКА НА РАЗПРОСТРАНЕНИЕТО НА МЕД (Cu) В Р. ТОПОЛНИЦА ЧРЕЗ ИЗПОЛЗВАНЕ НА СОФТУЕРЕН ПРОДУКТ

В. Кънчева¹

Ключови думи: екология, тежки метали, карта на замърсяването

РЕЗЮМЕ

За оценката на разпространението на мед (Cu) в р. Тополница са разработени хидравличен и екологичен модел. Разгледан е участък от 42 km от р. Тополница, между устието на р. Медетска (приток на р. Тополница) и яз. „Тополница“. За изграждането на моделите е използван софтуерният продукт Mike Hydro River и екологичният модул към него EcoLab. За оценка на достоверността на хидравликата на реката и екологичния модул са използвани 4 статистически критерия: относителна грешка (r), средно квадратично отклонение (σ), коефициент на Nash-Sutcliffe и коефициент на корелация (R^2).

Изграденият хидравличен модел на р. Тополница е с висока достоверност, което го прави добра база за разработване на екологичния модул. Шаблонът за тежки метали в екологичния модул включва 6 променливи на състоянието: 3 във водната фаза и 3 във фазата на седиментите. Като входни данни за екологичния модул са въведени концентрациите на разтворима мед (Cu) в три точки от реката, а останалите променливи са зададени като константи. За оценка на достоверността на този модул са използвани същите 4 статистически критерия, както при хидравличния модел. Получените резултати за екологичния модел на р. Тополница по отношение на разпространението на мед (Cu) показват, че така съставеният модел може да се използва за прогнозиране на бъдещото състояние на концентрацията на разтворима мед (Cu) в реката.

¹ Виктория Кънчева, асистент, ИПАЗР „Никола Пушкарров“, гр. София, ул. „Шосе Банкя“ № 7, e-mail: viktoriq.kuncheva@gmail.com

1. Въведение

Река Тополница е ляв приток на р. Марица и извира от Средна гора. Дължината ѝ е 129 km, а общата ѝ водосборна площ – 1 857 km², което представлява около 8,5% от общата водосборна област на р. Марица.

Анализът на съществуващата информация за замърсяване в района показва, че общото екологично състояние на водите и почвите в района е влошено вследствие на металодобивната и металопреработвателната индустрия.

Като основни замърсители са посочени мед (Cu), манган (Mn), желязо (Fe), алуминий (Al), олово (Pb), арсен (As) и хром (Cr). От особено значение е наличието на арсен (As), като единствения известен отровен металоид. Той представлява особена заплаха за здравето на човека.

В План за управление на речните басейни, 2016 – 2021 са представени основните източници на замърсяване в района а именно предприятията: „Елаците мед”, „Дънди прешъс металс” и „Аурубис”. Никъде не е споменат открит рудник „Медет“, в близост до който преминава р. Медетска.



Фиг. 1. Карта на р. Тополница и притоците ѝ

По поречието на р. Тополница са разположени някои големи предприятия, които представляват потенциален риск за околната среда:

- „Елаците мед”, хвостохранилище „Бенковски-2”, от което се просмукват кисели отпадни води с тежки метали в подпочвените води или при сухо време хвостът се издухва от вятъра в нивите, къщите и реката;
- „Дънди прешъс металс”, хвостохранилище „Чавдар”, откъдето вероятно се просмукват в подпочвените води кисели води, утайки и инфилтрати, богати на арсен и тежки метали;

- „Дънди Прешъс Металс”, разтоварище за руден концентрат на жп гара Златица, от заустване на отпадни води директно в битовата канализация и в р. Златишка, което води от своя страна до заустване в р. Тополница;
- „Аурубис” зауства отпадъчни води при Златица и Пирдоп в р. Санър дере, р. Кору дере и р. Златишка; има увеличено няколко пъти производство, но няма пречиствателно съоръжение; има констатирани залпови замърсявания от здравна и екоинспекция (Оперативна програма „Околна среда 2007 – 2013 г.“).

Таблица 1. Данни за предприятията в района на р. Тополница

Рудници (концесии)	Вид руди	Община	Област
Асарел, у-к Запад	Медно-златни руди	Панагюрище, Златица, Чавдар	Пазарджик, София
Челопеч	Златно-медно-пиритни руди	Челопеч	София
Елаците	Медно-порфирни златосъдържащи руди	Етрополе, Златица, Мирково, Челопеч, Чавдар	София

2. Материали и методи

Използван е софтуерният продукт MIKE HYDRO, в допълнение с модула Eco Lab. Този модел позволява изработването на хидравличен модел на избрания участък от река-та, и последващо изобразяване на разпространението на замърсяващите елементи в нея.

2.1. Хидравличен модел

Моделирането на водното течение се основа на решаването на еднодименсионалното уравнение за плитки потоци (уравнението на Сен Венан). Числените алгоритми предоставят ефикасни и акуратни решения както в разклонени, така и в сключени тръбни и речни системи.

Изчислителната схема е приложима за вертикално хомогенни условия на потока. Тези условия са налични както в дренажни и канализационни тръби, с вариращо водно ниво, така и в реки, открити канали и заливни площадки.

С помощта на този софтуер се дава се възможност за изграждане на реалистични и надеждни модели за работата както на съществуващи речни и канални мрежи, така и на такива в проект. (MIKE Hydro River User Guide, 2017).

Едномерният модел апроксимира вертикално ориентираните уравнения за запазване на момента и на масите (Уравнения на Сен Венан), които са базирани на следните предпоставки:

- Водата е хомогенна и няма значителни промени в плътността;
- Наклонът на дъното е малък;
- Дължината на вълната е по голяма в сравнение с дълбочината на водното течение. По този начин може да се приеме, че водното течение има посока, успоредна на дъното, следователно може да се пренебрегне вертикалното ускорение и да се приеме изменение на хидростатичното налягане по вертикала.

- Скоростта на водното течение е по-малка от критичната.

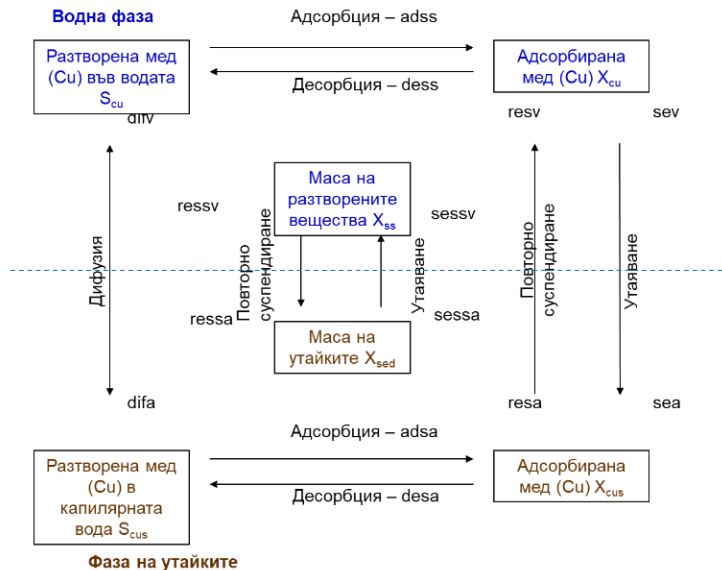
2.2. Екологичен модел

ECO Lab позволява моделиране на процеси като еутрофикация, качество на водата и транспорт на тежки метали. Модулът ECO Lab е свързан с адвекционно-дисперсионните модули, описва физични и химични процеси и тяхното взаимодействие с екосистемите. Процесите са описани чрез формули и константи, определящи промяната във времето на променливите на състоянието. Фирмата производител предлага шаблони, съдържащи математическото описание на различните процеси, като е предоставена възможност за създаване на нов шаблон.

По време на симулацията, моделираната система интегрира всяка времева стъпка, като симулира транспортирането на тежките метали на базата на хидродинамиката.

Шаблоните към ECO Lab се състоят от взаимосвързани диференциални уравнения, описващи всяка променлива на състоянието. Фирмата предлага шаблон за изследване на разпространението на тежки метали, който се използва за изследване на въздействието на тежките метали върху водните екосистеми и акумулацията им в утайките. Разглеждат се две фази, водна фаза и утаячна (горните 10 cm), както и взаимовръзките между тях. Във водната фаза се вземат под внимание процесите на адсорбцията/десорбцията на метали от суспендираната материя. Във фазата на утайката се вземат под внимание процесите на адсорбцията/десорбцията на металите от утайките в капиларната вода. Връзката между двете фази включва: утаяването на суспендираните вещества, ресуспензията на утайките и дифузията обмен между капиларната вода и водната фаза, както и обратното. В този шаблон е приета предпоставката, че характеристиките на утайките, като поръзност, плътност и капиларна вода са постоянни във времето.

Медта (Cu) се свързва със суспендираните частици, затова утаяването/повторното суспендиране на метала е част от утаяването/повторното суспендиране на частиците.



Фиг. 2. Процеси и взаимосвързки между водната фаза и фазата на утайките, включени в шаблона за тежки метали на ECO Lab

2.3. Оценка на достоверността на екологичния модел

Използвани са 4 основни критерия за оценка на ефективността на хидравличния модел и екологичния модел на р. Тополница: относителна грешка (r), средно квадратично отклонение (σ), коефициент на Nash-Sutcliffe и коефициент на корелация (R^2).

2.3.1. Коефициент на Nash-Sutcliffe

Коефициентът на ефективност на Nash-Sutcliffe (NSE) е статистически параметър, който определя относителната величина на остатъчната дисперсия в сравнение с измерената вариация на данните. (Nash and Sutcliffe, 1970). NSE показва колко добре графиката на наблюдаваните данни спрямо данните от модела съответства на линия с наклон 1:1. $NSE = 1$, съответства на пълно съвпадение на наблюдаваните данни спрямо данните от модела. $NSE = 0$, показва че прогнозата на модела е толкова точна, колкото средната стойност на наблюдаваните данни. $NSE = 0 \div 1$ показва, че наблюдаваната средна стойност може да се използва за прогнозиране на данните от модела.

2.3.2. Коефициент на корелация

Най-често използваният показател за оценката на теснотата (силата) на връзката между y и x е коефициентът на корелация.

При линейна зависимост от вида: $y = b_0 + b_1x$, коефициентът на корелация е:

$$r = \frac{\overline{xy} - \bar{x} \cdot \bar{y}}{S_x S_y}, \quad (1)$$

където \bar{x} и \bar{y} са оценките на средните стойности на x и y ;

\overline{xy} – оценката на средната стойност на произведението на x по y ;

S_x и S_y – оценките на средноквадратичните отклонения на x и y .

Коефициентът r се извежда в границите от -1 до $+1$ (Указания за статистически методи за ISO 9001:2000, 2003).

3. Резултати и обсъждания

3.1. Входни данни

3.1.1. Основа на модела

Хидравличният модел на р. Тополница е изграден на базата на DEM (дигитален височинен модел), като е очертано корито на реката по точките на талвега ѝ и са генерирани напречни сечения през 200 m по течението на реката.

3.1.2. Коефициент на триене

Зададен е коефициент на грапавина на коритото на реката – 0,35 по Манинг.

3.1.3. Симулационен период и времева стъпка

Зададен е период на симулация за двата разглеждани периода, съответно 01.01.2016 г. – 31.12.2017 г. за разработването на хидродинамичния модел на реката. За екологичния модел за разпространение на мед (Cu) в реката е приет период на симулацията: 19.01.2016 г. – 06.12.2016 г., тъй като са използвани данните от провеждания мониторинг на БДИБР.

Определянето на изчислителната стъпка става итеративно. Хидродинамичният модел е изпробван с фиксирани времеви стъпки през 10 секунди: 10, 20, 30, 40, 50 и 60 сек. Установено е, че най-висока стабилност се постига при времева стъпка 10 секунди, за това целият модел е разработен с нея.

Софтуерът е програмиран да запазва стойности за водните количества и концентрациите на мед (Cu) на всеки 24 часа от симулацията, за получаване на ежедневни стойности.

3.1.4. Гранични условия за хидравличния модел

Зададени са средномесечните водни количества в началото на разглеждания участък от р. Тополница, в точките на вливане на четири от притоците ѝ (р. Медетска, р. Златишка, р. Воздол и р. Буновска) на базата на направени хидроложки изчисления. Притоците в модела са зададени като точкови източници на водно количество, тъй като водните количества за разглеждания период не надхвърлят височината на напречните сечения. В края на участъка (с. Поибрене) е известна $Q-H$ характеристиката на реката, което позволява постигане на голяма точност на така изградения модел.

3.1.5. Гранични условия за екологичния модел

Използваният шаблон за тежки метали включва 6 променливи на състоянието: 3 във водната фаза, които се транспортират – разтворена мед (SCu), адсорбирана мед (XCu) и маса на суспендираните частици (XSS); и 3 в фазата на утаяване, които не се транспортират – адсорбирана мед в седиментите (XCuS), разтворена мед в порите (SCuS) и маса на седиментите (XSed).

Зададени са стойности на разтворената мед (SCu) в 3 пункта на реката – след устиятя на р. Медетска, р. Златишка и р. Воздол. Стойностите са за определени дати в периода 2016 – 2017 год.

Приетите константи за работа с екологичния модел са определени и са представени в табл. 2.

Таблица 2. Приети и получени стойности на константите в модула Eco Lab

Константи	
Коефициент на органичен въглерод	103531 l/kg
Степен на десорбция във водата	0,1 day ⁻¹
Степен на десорбция в седиментите	0,12 day ⁻¹
Фракция на органичния въглерод в суспендираните частици	0,6
Фракция на органичния въглерод в седиментите	0,7
Дебелина на водния слой	0,1 mm
Отношение между дебелината на дифузияния слой в утайките и дебелината на утайките	0,2

Частта от дифузията, дължаща се на биотурбация	1
Молекулярно тегло на метала	63,546 g/mol
Времева стъпка на екологичния модел	30 s
Плътност на сухата утайка	1750 kg/m ³
Порьозност на утайките	0,3
Скорост на утаяване на суспендираните частици	0,1 m/day
Степен на ресуспензия	1 g/m ² /day
Степен на продукция на частици	1 g/m ² /day
Критична скорост на ресуспензия на утайките	1

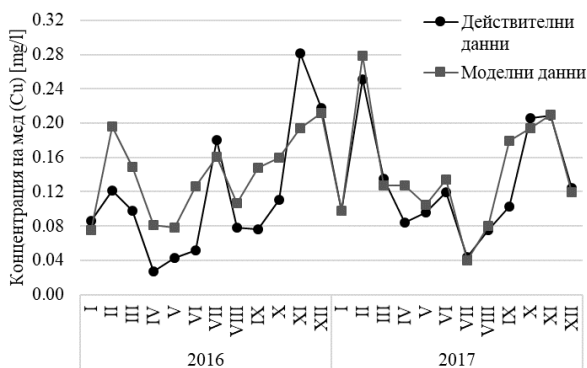
3.2. Оценка на достоверността на екологичния модел

Моделът е валидиран на базата на последната точка от разглеждания участък от реката, където има изградена хидрометрична станция – с. Поибрене.

Оценката на достоверността на модела се прави като сравнение между действително измерените концентрации на мед (Cu) и резултатите, получени от модела.

От фиг. 3 се вижда, че достоверността на данните от модела се увеличава значително през 2017 год.

Относителната грешка показва процентното отклонение на данните от модела спрямо действителните. Средната стойност за периода на относителната грешка е 22,60%. Средната относителна грешка за всяка от годините е както следва: за 2016 год. – 33,84% и за 2017 год. – 11,36%.



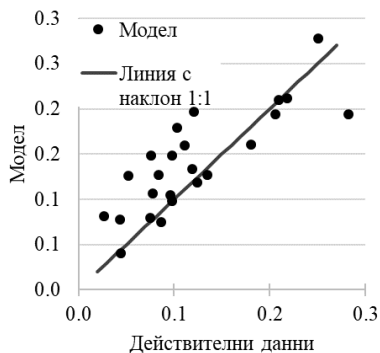
Фиг. 3. Концентрация на мед (Cu) в пункт № 15 за 2016 и 2017 год. – действително измерени и моделни данни

Средно квадратичното отклонение за двете години е:

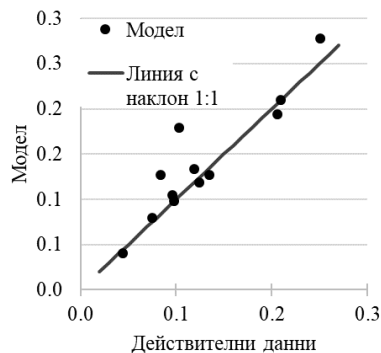
$$\sigma_{2016,2017} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{24} (C_{Cu \text{ модел}_i} - C_{Cu \text{ действ}_i})^2}{23}} = 0,044 \text{ mg/l.}$$

Средно квадратичното отклонение показва разсейването на стойностите от средното, което в случая е в диапазона 0,044 mg/l.

Коефициентът на Nash-Sutcliffe е $NSE = 0,563$ общо за двете години, което показва средна степен на достоверност на екологичния модел (фиг. 4). Изчислен е коефициентът на Nash-Sutcliffe за 2017 год. отделно – $NSE = 0,770$. Видно е, че колкото по-продължителен е периодът на изследване, толкова достоверността на модела е по-висока (фиг. 5).



Фиг. 4. Коефициент на Nash-Sutcliffe за определяне на ефективността на екологичния модел за 2016 – 2017 г.

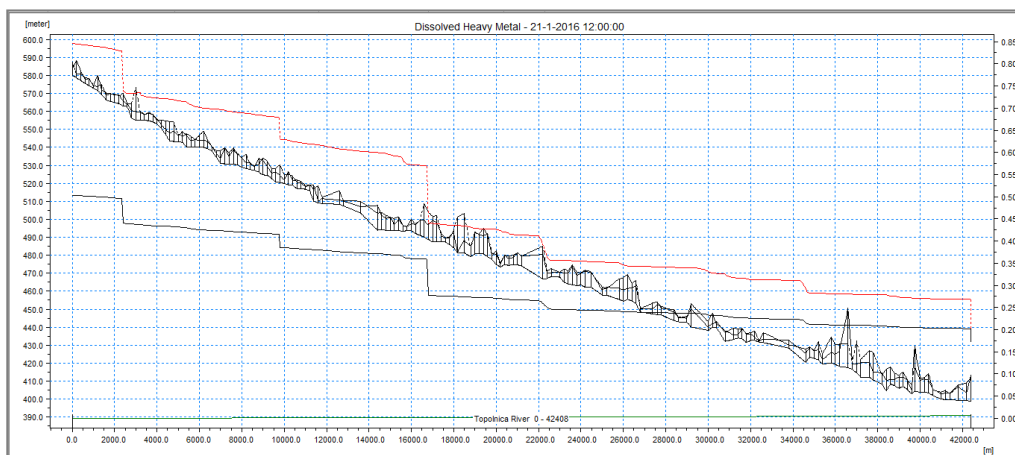


Фиг. 5. Коефициент на Nash-Sutcliffe за определяне на ефективността на екологичния модел за 2017 г.

Изследвана е зависимостта между действителните и моделните данни само за 2017 г. Получено е уравнение на права, с коефициент на корелация $R^2 = 0,8449$. Това уравнение би дало по-достоверни резултати за възможните стойности на моделните данни.

3.3. Резултати от екологичния модел

От разработения екологичен модел за оценка на разпространението на мед (Cu) в поречието на р. Тополница са получени надлъжни профили на реката (фиг. 6) и карти в план на разпространението на медта.



Фиг. 6. Надлъжен профил на разпространението на разтворима мед (Cu) р. Тополница

По абсцисата са дадени разстоянията от началото на реката в m, по ординатата отляво – надморската височина в m, а по ординатата отдясно – концентрациите на мед (Cu) в mg/l. Червената линия показва най-високите концентрации на мед (Cu) в рамките на разглеждания период, а черната показва концентрациите към момента на заснемане на профила, т.е. 21.01.2016 г.

Най-високи концентрации на мед (Cu) се установяват през месеците август и септември за двете години, а най-ниски през март и април.

4. Изводи

Изграденият хидравличен модел е с висока достоверност, което позволява по-качествено разработване на екологичния модел за разпространение на мед (Cu) в реката.

Екологичният модел на реката е със средна към висока достоверност, с коефициент на Наш-Сютклиф от 0,602. Грешката в резултатите от екологичния модул се дължи на неточности при определянето на константите и недостатъчна информация по отношение на концентрациите на мед (Cu) в повече пунктове от реката, както и повече дати на замерване.

Екологичният модел на реката показва най-високи концентрации на мед (Cu) през месеците август и септември и за двете години, а най-ниски през март и април. Тази информация се потвърждава и от данните получени от БДИБР.

Хидравличният и екологичният модел на реката могат да се използват за прогнозиране на водни количества и водни нива, концентрации на тежки метали, транспортирането им, концентрации в утайките и др.

ЛИТЕРАТУРА

1. Operativna programa „Okolna sreda 2007 – 2013“. MOSV.
2. Plan za upravlennie na rechnite baseyni 2016 – 2021. Baseynova direktsia Iztochnobelomorski rayon, MOSV.
3. Ukazania za statisticheski metodi za ISO 9001:2000, 2003.
4. MIKE Hydro River User Guide, 2017.
5. *Nash, J. E., Sutcliffe, J. V.* (1970) River Flow Forecasting through Conceptual Model. Part 1 – A Discussion of Principles. *Journal of Hydrology*, 1970, 10, 282-290.
6. *Varlev, Iv., Pl. Petkov, B. Tenev, V. Petrova et. al.* Water Quality Protection and Management in the Maritza River Basin Diagnostic Study of the Nature, Magnitude and Sources of Water Pollution in the Basin of Maritza River and its Tributaries”. Sofia: Ministry of environment and waters, UNDP, Project BUL/94/003, 1996-1999.

ASSESSMENT OF COPPER (Cu) DISTRIBUTION IN TOPOLNITSA RIVER USING SOFTWARE PRODUCT

V. Kancheva¹

Keywords: ecology, heavy metals, pollution map

ABSTRACT

Assessment of copper (Cu) distribution in the Topolnitsa River is based on hydraulic and ecological models. A section of 42 km from the Topolnitsa river, between the outfall of the Medetska River (tributary of the Topolnitsa River) and the Topolnitsa Dam, is considered. Mike Hydro River software and the EcoLab module were used to build the models. Four statistical criteria were used to assess the validity of the river hydraulics and the ecological module: relative error (r), root mean square deviation (σ), Nash-Sutcliffe coefficient and correlation coefficient (R^2).

The constructed hydraulic model of the Topolnitsa River is of high reliability, which makes it a good base for the development of the ecological module. The heavy metal template in the ecological module includes 6 state variables: 3 in the water phase and 3 in the sediment phase. The concentrations of dissolved copper (Cu) at three points along the river are introduced as inputs to the ecological module, the remaining variables are set as constants. The same 4 statistical criteria as for the hydraulic model were used to evaluate the reliability of this module. The results obtained for the ecological model of the Topolnitsa River in terms of copper distribution (Cu) indicate that the model thus constructed can be used to predict the future state of dissolved copper (Cu) concentration in the river.

¹ V. Kancheva, assistant, ISSAPP „Nikola Pouchkarov”, Sofia, 7 Shosse Bankya St.,
e-mail: viktoriq.kuncheva@gmail.com