БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ • BULGARIAN ACADEMY OF SCIENCES
ПРОБЛЕМИ НА ГЕОГРАФИЯТА • 1–2 • PROBLEMS OF GEOGRAPHY
София • 2020 • Sofia

ИНДЕКС *MeTo* ЗА ОЦЕНКА НА ОПАСНОСТТА ОТ ЗАМЪРСЯВАНЕ С ТЕЖКИ МЕТАЛИ НА ПОЧВИТЕ НА КРАЙДУНАВСКИТЕ НИЗИНИ В БЪЛГАРИЯ

Велимира Стоянова[1], *Цветан Коцев*[1]

DOI: https://doi.org/10.35101/prg-2020.1-2.5

Статията представя индексът *MeTo*, който е разработен за оценка на опасността от замърсяване с тежки метали и металоиди на почвите на крайдунавските низини в България при евентуален разлив или наводнение. Той включва показателите степен на замърсяване на речните наноси (Me) и форми на релефа (To).

Ключови думи: *речни наноси, релеф, риск, уязвимост*

INDEX *MeTo* FOR HAZARD ASSESSMENT OF HEAVY METAL POLLUTION OF SOIL IN THE DANUBE LOWLANDS IN BULGARIA

Velimira Stoyanova[1], *Tsvetan Kotsev*[1]

Abstract: The article presents the index *MeTo* which is elaborated to assess the hazard of heavy metal pollution of riverine floodplain soils in the Danube lowlands in Bulgaria. The index *MeTo* includes the following parameters: degree of heavy metal pollution of river sediment (Me) and topography (To). Each parameter is characterized by the following elements: weight (W), ranges, and ratings (R). The two variables are weighed against each other to determine its relative importance. The higher weight is given to the indicator 'degree of heavy metal pollution of river sediment' followed by the 'topography'. Their weight coefficients are 2 and 1, respectively. The ranges of the parameters characterize the variety of environmental settings throughout the wetlands for the accumulation of heavy metals in the soils of the floodplain. Ratings (R) from 1 to 4 is assigned to each of the ranges of the individual variables. The degree of pollution of the river sediment is calculated by the index C_d proposed by Backman et al. (1998) as follows: $Cd = \sum_{i=1}^{n} Cfi$, $Cfi = \sum_{Cni}^{Cai} - 1$, where C_{fi} is for the contamination factor for the i–th component, C_{ai} is for the analytical value of the i–th component, and C_{ni} is for the threshold value of the i–th component. The target values for sediment used in the consecutive Joint Danube Surveys organized by the International

[1] Департамент География – Национален институт по геофизика, геодезия и география при Българска академия на науките: stoyanovavelimira@gmail.com; tsvetankotsev@mail.bg

Commission for the Protection of the Danube River are applied as contaminant thresholds for calculating the index C_d. The ranges of C_d are determined as follows: C_d=0, no pollution; C_d (0, 1], low pollution; C_d (1, 3], moderate pollution; C_d>3, high pollution. The intervals have scores 1, 2, 3, and 4, respectively. The topography is assessed by the major geomorphological forms identified in the lowlands, which are rated as follows: high floodplain, R=1; sandy ridges, R=1; low floodplain, R=2; old river channels, R=3; marshes, R=4. The *MeTo* index is calculated as the sum of the products of ratings (R) and weights (W) assigned to each of the parameters: $MeTo=Me_W*Me_R+To_W*To_R$. The minimum value of the *MeTo* index is 3 and the maximum is 12. The whole range is divided into six classes: 3 (negligible hazard), 4-5 (very low hazard), 6-7 (low hazard), 8-9 (moderate hazard), 10-11 (high hazard), and 12 (very high hazard).

Keywords: *river sediment, topography, risk, vulnerability*

УВОД

Речните долини и крайречните низини предлагат едни от най-добрите условия за развитие на социалния и икономическия живот на хората от възникването на човечеството до наши дни. Те са най-населените райони на планетата и антропогенното въздействие върху околната среда е едно от най-големите. Почвите в тези ландшафти на Земята се характеризират с много висока опасност от замърсяване с тежки метали и металоиди. Бързото стопанско развитие в света след 50-те години на XX век е причина за постъпването и акумулирането на значителни количества опасни химични вещества в почвите (Mitsch, Gosselink, 2015; Ehlert, 2016). Пример за такъв район са низините покрай р. Дунав. Замърсяването на Дунавския басейн с тежки метали е свързано с индустриалното развитие на дунавските страни през последните два века (Bird et al., 2010a; Winkels et al., 1998). В долното дунавско поречие то е най-интензивно в периода 1950-1987 г. (Pavlović et al., 2015). В резултат на рудодобива във водосборните басейни на Тимок, Огоста и Искър, долното течение на р. Дунав в участъка след пролома Железни врата се отличава с повишени концентрации на някои тежки метали в дънните и плаващите наноси (Macklin et al., 2003; Woitke et al., 2003; Bird et al., 2003, 2010b, 2010c; Konradi et al., 2006; Comero et al., 2014). Това създава предпоставки за натрупване на тежки метали в почвите на заливните тераси на р. Дунав при разливи и наводнения. В резултат от изменението на климата повишената честота на екстремните климатични и хидроложки събития засилва процесите на пренос, акумулация и преразпределение на тежките метали и металоиди в заливната тераса на р. Дунав. В резултат съществува опасност определени химични елементи да надхвърлят пределно допустимите концентрации в почвите на крайдунавските низини.

В рамките на проекта „Интегрирана оценка на природния и технологичния риск в Дунавската равнина в трансграничния регион Калафат–Видин–Турну Мъгуреле–Никопол“ (ROBUHAZ-DUN) през периода м. юни 2012 г. – м. ноември 2013 г. са изследвани и картографирани природните и технологичните опасности за част от низините между Видин и Свищов (Добрев и др., 2013; Беров и др., 2013; Николова и др., 2013а и б; Ножаров, 2013; Матеева, 2013; Матеева и др., 2013а, б, в; Николова и Недков, 2013; Коцев и др., 2013; Железов,

Фиг. 1. Дунавски низини в България: (1) Брегово-Новоселска, (2) Видинска, (3) Арчаро-Орсойска, (4) Долноцибърска, (5) Козлодуйска, (6) Островска, (7) Черноволска, (8) Свищовско-Беленска, (9) Вардимска, (10) Батинска, (11) Аблановска, (12) Бръшлянска, (13) Попино-Гарванска, (14) Айдемирска

2014; Черкезова и Недков, 2014; Коцев и Железов, 2014; Vatseva, 2014; Mateeva, et al., 2014; Nojarov, 2014; Koulov, 2014). Проектът не включва оценка на опасността от замърсяване на почвите с тежки метали и металоиди при разлив или наводнение и като цяло крайдунавските низини на българска територия не са изучавани в това отношение. Сравнително малко са и публикациите с данни за съдържанията на микроелементи в наносите и почвите на низините (Ricking, Terytze, 1999; Bird et al., 2010a; Hristov, 2010; Коцев и др., 2013; Gyosheva et al., 2017; Stoyanova et al., 2018; Stoyanova et al., 2019).

Целта на настоящата публикация е да представи разработеният от авторите индекс *MeTo* за оценка на опасността от замърсяване на почвите на крайдунавските низини в България с тежки метали и металоиди при разлив или наводнение (фиг. 1).

СЪЩНОСТ, ВИДОВЕ И МЕТОДИ ЗА ОЦЕНКА НА ОПАСНОСТТА

ДЕФИНИЦИИ ЗА ОПАСНОСТ

В научната литература съществуват множество дефиниции за опасност. IPENZ (1983) дава следното определение за опасност: *„Състояние или ситуация, която може да причини вреда на хората, имуществото или околната среда“* (Schneiderbauer, Ehrlich, 2004). Gardenier & Keey (1992) определят опасността като *„Евентуална загуба, която може да причини човешки, социални, екологични или икономически вреди“*. Smith (1992) разбира под опасност *„Потенциалната заплаха за хората и благосъстоянието им“* (Schneiderbauer, Ehrlich, 2004). Garatwa & Bollin (2002) правят разлика между *„наистина природни опасности (като земетресения) и социално-природни опасности (горски пожари, наводнения, свлачища и др.), които се предизвикват или утежняват от комбинация от екстремни природни събития и човешка намеса в природа-*

та". Според UN-ISDR (2004) *„Опасността се определя като потенциалното увреждащо физическо събитие, явление или човешка дейност, която може да причини загуба на живот или нараняване, имуществени щети, социални и икономически вреди или влошаване на състоянието на околната среда. Това събитие има вероятност да се случи в рамките на определен период от време и в рамките на дадена област и има дадена интензивност"* (Westen, 2010). Schneiderbauer *&* Ehrlich (2004) под опасност разбират *„Потенциалното увреждащо физическо събитие, явление и/или човешка дейност, които могат да причинят загуба на живот или нараняване, имуществени щети, социални и икономически кризи или увреждане на околната среда. Опасностите могат да бъдат единични, последователни или комбинирани по своя произход и ефект"*. Някои автори ограничават опасностите до такива, които произтичат от естествено предизвикани събития, докато други включват и събития, предизвикани от човешки дейности" (Schneiderbauer, Ehrlich, 2004). В монографията „Рискът от наводнения. ГИС моделиране на промените в околната среда за оценка на риска от наводнения" (Николова, Недков, 2012) се дава следната дефиниция за опасност: *„Опасността е вероятността дадено събитие да доведе до бедствие или до загуба на човешки живот, нараняване, материални щети, социални последствия, икономически загуби или деградация на околната среда"*. Повечето автори обаче са съгласни, че опасностите, за разлика от събитията, имат потенциал да причинят вреда на хората, имуществото или околната среда (Schneiderbauer, Ehrlich, 2004). Пак там се посочва, че е необходимо да се прави разграничение между термините „опасност", „риск" и „бедствие", защото много често те се използват като синоними. Същите автори считат, че рискът представлява изчислима вероятност за загуба на определен елемент, докато опасността има само потенциал да причини негативни последици. Доколко тези последствия могат да станат реалност зависи от „уязвимостта" на рисковия елемент. За разлика от това, „бедствие" означава, че потенциално отрицателните последици са станали реалност поради възникване на опасност.

Според Varners (1984), Crichton (1999), Uricchio et al. (2004) и др. опасността е един от трите елемента за изчисляване на риска като вероятност от загуба при природни бедствия (фиг. 2).

Фиг. 2. „Триъгълник на риска" (по Crichton, 1999)

Strachan (1984), Gardenier (1992), Smith (1992), Garatwa (2002) и др. групират опасността в три класа (табл. 1): природна, технологична и причинена от човека (социална). Трябва да се има в предвид, както и Schneiderbauer & Ehrlich (2004) посочват в своето определение, дадено по-горе, че опасностите могат да имат взаимосвързани причини и разпределението им от един клас в друг често е трудно. Те дават и следния пример: вулканите могат да причинят свлачища, които от своя страна да причинят цунами. Или земетресение може да провокира разрушаването на сгради и инфраструктура като язовири, което ще доведе до други опасности като наводнения.

Таблица 1

Групи и видове опасности

Клас опасност	**Тип опасност**	**Пример**
Природна	Геоложка	Земетресение, вулканично изригване, свлачища
	Метеорологична	Циклони, мълнии и пожари, суша, лавини, градушки, бури, екстремни температури
	Океаноложка	Цунами, морски бури
	Хидроложка	Наводнение, прииждания
	Биологична	Епидемии, нашествие на насекоми
Технологична	Индустриално замърсяване	Неконтролирано изпускане на опасни вещества при тяхното транспортиране или в процеса на производства
	Ядрени аварии	Неконтролирано изпускане на радиоактивни материали от електроцентрали или по време на транспортиране на ядрен материал
	Разрушаване на преградни диги и язовирни стени	Наводнения
	Експлозии и пожари	Неконтролирано изгаряне на жилища, търговски, промишлени или други сгради в градовете и селата
	Аварии в енергоснабдяването	Прекъсвания или загуби на електрическо захранване за продължителни периоди от време
	Аварии в телекомуникациите	Срив на интернет мрежата, отказ от пренос на данни, унищожаване на компютри или софтуер
Социална	Терористична дейност	Бомбардиране, стрелба, отвличания
	Политически конфликти	Международна и гражданска война, революции и държавен преврат
	Свързани с тълпата	Безредици

Източници: Gardenier (1992); Smith (1992); Garatwa (2002); Schneiderbauer & Ehrlich (2004); Коцев и др. (2013); FEMA (n.d.).

МЕТОДИ ЗА ОЦЕНКА НА ОПАСНОСТТА

Оценката на природната и технологичната опасност в рамките на дадена територия може да бъде определена с различни методи: статистико-математически – клъстерен анализ, регресионен анализ и др. (Aleotti, Chowdhury, 1999; Clare et al., 2016), геостатистически, симулационни (Horspool et al., 2014), индекси и географски информационни системи (Carrara et al., 1995; Aleotti, Chowdhury, 1999; Temsgen et al., 2001; Metternicht et al., 2005; Fell et al., 2008; Westen et al., 2008; Galderisi et al., 2008; Lari et al., 2009) и хибридни методи (комбинация от всички). Индекс методите имат следните предимства пред статистическите и симулационните: използват общодостъпни данни и изискват по-малко средства при разработването им (Thapinta, Hudak, 2003). Тези методи се основават на комбиниране на данни за различни показатели, като на всеки от тях се дава оценка. След анализ на съществуващата информация тя може да бъде организирана в различни слоеве с помощта на географските информационни системи и да бъдат съставени карти на опасността.

ИНДЕКС MeTo

ПОКАЗАТЕЛИ ЗА ОЦЕНКА НА ОПАСНОСТТА

Основната част от тежките метали и металоиди, които се транспортират от реките, се сорбират в техните дънни и плаващи наноси. В условията на речно приижданe и разлив се създават условия за постъпване на опасни вещества в почвите на заливните речни тераси вследствие на отлагане на замърсените наноси (Ciszewski, Grygar, 2016). Може да се приеме, че опасността от постъпване на тежки метали в почвите на крайречните низини при разлив или наводнение се определя най-вече от степента на замърсеност на речните наноси и условията за техния транспорт и акумулация в заливната речна тераса (Macklin et al., 2006). Във връзка с това в представения индекс *MeTo* са включени два показателя, които пряко или косвено са свързани с посочените фактори. Степента на замърсяване на речните наноси се оценява посредством концентрациите на тежки метали и техните превишения над определени прагови стойности. Условията за акумулация на речните наноси са свързани в голяма степен с морфографските особености на терена (Laing et al., 2009; Middelkoop, 2000) и това е причина в оценката да бъде включен показателя „форма на релефа".

Разработеният индекс е наречен *MeTo* по първите букви на оценъчните фактори на английски език: *Me* – **me**tals и *To* – **to**pography. Всеки от показателите се характеризира със следните елементи: тежест (W), диапазони и оценка на диапазоните (R).

Тежест (W). Значението на всеки отделен показател за разглежданата опасност се оценява експертно чрез съпоставяне с останалите, за да се определи относителната му тежест. Показателят за степента на замърсяване на речните наноси, е оценен с тежест 2, а формите на релефа – с тежест 1 (табл. 2).

Таблица 2

Показатели и тежести, използвани в индекса MeTo

Показател	**Код на показателя**	**Тежест (W)**
Степен на замърсяване на речните наноси	Me (metals)	2
Форма на релефа	To (topography)	1

Диапазони. Числовите или категорийни данни за отделните показатели са класифицирани в няколко класа (диапазона), които са съобразени с природните особености на крайдунавските низини. Определянето на класове дава възможност за оценка на различията в условията за постъпване на тежки метали в почвите на крайречните низини. За всеки параметър са определени по четири диапазона, което, от една страна, отразява подробността на наличната информация, а от друга, осигурява достатъчна диференциация на проучваната територия при средномащабни изследвания.

Оценка на диапазоните (R). Отделните диапазони на всеки показател получават различна относителна оценка, която показва значимостта на условията в съответния интервал за степента на опасност. На всеки диапазон от даден параметър е присвоена оценка (R) със стойност от 1 до 4. По-долу в текста са представени диапазоните и оценките на използваните показатели.

СТЕПЕН НА ЗАМЪРСЯВАНЕ НА РЕЧНИТЕ НАНОСИ (Me)

Backman et al. (1998) предлагат индекса C_d, който позволява да се направи оценка на качеството на речните наноси, която да обобщава съвкупния ефект от няколко качествени показателя. При този метод степента на замърсеност на всяка анализирана проба се определя като сума от показателите, за които се установява превишение над максимално допустимите нива.

Индексът на замърсяването се изчислява по следния начин:

$$Cd = \sum_{i=1}^{n} Cfi \qquad (1)$$

$$Cfi = \sum \frac{Cai}{Cni} - 1 \qquad (2),$$

където: C_{fi} = фактор на замърсяване на i-тия показател (уравнение 2); C_{ai} = аналитична стойност на i-тия показател; C_{ni} = максимално допустима концентрация за i-тия показател (n обозначава „нормативна стойност“).

Като гранични нива (C_{ni}) в индекса на замърсяване се използват праговите стойности за концентрациите на тежки метали и металоиди в речните наноси, използвани в поредицата експедиционни изследвания на състоянието на река Дунав (Joint Danube Studies 1-3), организирани от Международната комисия по нейното опазване (ICPDR) през 2001, 2007 и 2013 г. (eds. Liška et al., 2015). Имайки предвид класификационната схема на Backman et al. (1998) са определени четири диапазона на замърсяване на седиментите (табл. 3).

Таблица 3

Класификация и оценка на степента на замърсяване на речните наноси

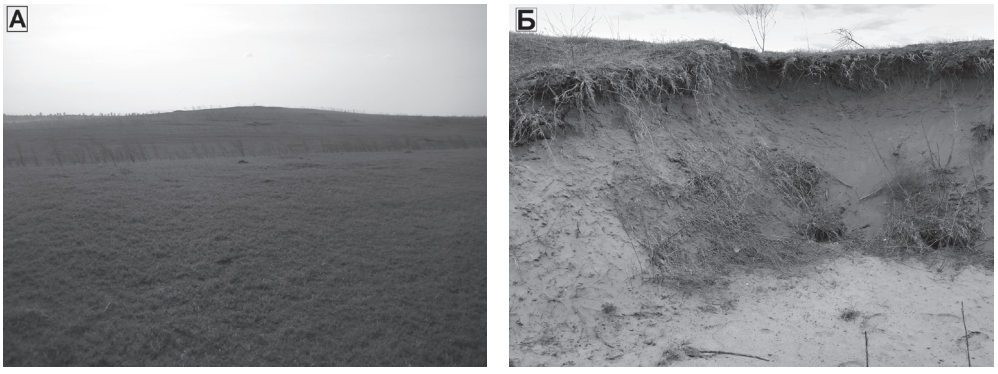
Интервал на индекс Cd (Backman et al. (1998)	**Степен на замърсяване (Backman et al., 1998)**	**Оценка (R)**
0	без замърсяване	1
0-1	ниска степен на замърсяване	2
1-3	средна степен на замърсяване	3
>3	висока степен на замърсяване	4

ФОРМИ НА РЕЛЕФА (To)

Отделните форми на релефа в заливната тераса се характеризират с различна интензивност на акумулация и зърнометричен състав на речните наслаги. Количеството на отложените наноси се определя от скоростта на движение на водата, както и от честотата и продължителността на разливите и наводненията (Laing et al., 2009; Ciszewski, Grygar, 2016). В понижения на заливната речна тераса се утаяват по-финитe наноси, в които концентрациите на микроелементи са по-високи в сравнение с по-едрозърнестите утайки отлагани в по-високите участъци от терасата (Szabó et al., 2020).

Класифицирането на формите на релефа на крайдунавските низини е направено по класификацията на Мишев (1959), но са използвани данни и от публикациите на Николов (2016) и Черкезова (2019), както и от проведените теренни изследвания на низините през 2013, 2017, 2018 и 2019 г. Определени са следните геоморфоложки форми: ниска заливна тераса, заблатена заливна тераса (фиг. 3), висока заливна тераса, пясъчни гредове (фиг. 4) и стари речни легла.

Фиг. 3. Заблатена заливна тераса: (А) Островска низина (снимка: В. Стоянова, 2017 г.); (Б) Орсойска низина (снимка: В. Стоянова, 2018 г.)



Фиг. 4. Пясъчни гредове: (А) Долноцибърска низина (снимка: В. Стоянова, 2017 г.); (Б) Орсойска низина (снимка: В. Стоянова, 2019 г.)

Формите на релефа на крайдунавските низини са групирани по интензивност на акумулацията на финитe речни наслаги в четири групи (табл. 4).

Таблица 4

Класификация и оценка на формите на релефа

Форма на релефа	**Интензивност на акумулация на фини речни наслаги**	**Оценка (R)**
Висока заливна тераса, пясъчни гредове	ниска	1
Ниска заливна тераса	средна	2
Стари речни легла	средна до висока	3
Заблатена заливна тераса	висока	4

ИЗЧИСЛЯВАНЕ НА ОПАСНОСТТА

Индексът *MeTo* представя относителна оценка на опасността от замърсяване на дадена територия. Колкото по-голям е сумарният резултат, толкова по-голяма е опасността от постъпване на тежки метали и металоиди в почвите на крайречните низини при наводнение. Той се изчислява по следната формула (3):

$$MeTo=Me_W*Me_R+To_W*To_R \quad (3),$$

където: MeTo – име на индекс метода; Me – степен на замърсяване на речните наноси; To – форма на релефа; R – оценка; W – тежест на показателя.

Минималната възможна стойност на индекса е 3, а максималната – 12. Целият диапазон е разделен на шест интервала, които отговарят на шест класа на опасност: незначителна, много ниска, ниска, средна, висока и много висока.

Оценяването включва не само представянето на числов резултат, но и съставянето на карти за всеки показател поотделно и на карти на опасността по низини. Те показват в коя част на низината може да се очаква акумулиране на най-големи количества тежки метали и металоиди при възникване на разлив или наводнение. Картите на опасността се съставят чрез сумиране на растерните слоеве за всички показатели в ГИС-среда с помощта на програмния продукт ArcGIS. За разграничаване на класовете при съставяне на картите се използва RGB цветен модел (табл. 5).

Таблица 5

Класове опасност

Бал	**Цвят**	**RGB**	**Опасност**
3	тъмнозелен	38/118/0	незначителна
4-5	зелен	10/204/0	много ниска
6-7	светлозелен	170/255/0	ниска
8-9	жълт	255/255/135	средна
10-11	оранжев	255/168/0	висока
12	червен	255/0/0	много висока

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящата статия представя авторска разработка на индекс метод за оценка на опасността от отлагане на тежки метали и металоиди в почвите на крайдунавските низини в България в случай на наводнение. В статията е направен опит да се изясни същността, видовете и методите за оценка на опасността като част от теоретичната основа на метода. Индексът *МеТо* включва показателите степен на замърсяване на речните наноси (Ме) и форми на релефа (То). Всеки от тях се характеризира със следните елементи: тежест (W), диапазони и оценка на диапазоните (R). Показателят степен на замърсяване на речните наноси е оценен с тежест 2, а формите на релефа – с тежест 1. На всеки диапазон от даденения показател е присвоена оценка (R) със стойност от 1 до 4. Освен числов резултат оценяването включва съставянето на карти за всеки показател поотделно и на карти на опасността по низини. За разграничаване на класовете при съставяне на картите се използва RGB цветен модел. Определени са шест класа опасност: незначителна (RGB – 38/118/0), много ниска (RGB – 10/204/0), ниска (RGB – 170/255/0), средна (RGB – 255/255/0), висока (RGB – 255/168/0) и много висока (RGB – 255/0/0).

Картографските резултати и техният пространствен анализ ще бъдат предмет на други публикации. Те ще бъдат предоставени на местните власти с цел

оптимизация на земеползването и намаляването на здравния риск за местното население след случай на наводнение.

Благодарности

Това изследване е подкрепено от Министерството на образованието и науката в България в рамките на националната научна програма „Млади учени и постдокторанти“, одобрена с решение РМС № 577 от 17.08.2018 г.

ЛИТЕРАТУРА

Беров, Б., М. Кръстанов, П. Иванов (2013) Ерозия. – В: Оценка и превенция на риска в Дунавската равнина (регион Калафат–Видин–Турну Магуреле–Никопол), ред. Г. Железов, С., ТерАрт, с. 80-83/ Berov, B., M. Krastanov, P. Ivanov (2013) Erosien. In: G. Zhelezov (ed.) Hazard assessment and mitigation in the Danube floodplain. Calafat–Vidin–Turnu Magurele–Nikopol sector. Sofia: TerArt, pp. 80-83. (Bg)

Добрев, Н., Б. Беров, П. Иванов, М. Кръстанов, Б. Михалкова (2013) Свлачища. – В: Оценка и превенция на риска в Дунавската равнина (регион Калафат–Видин–Турну Магуреле–Никопол), ред. Г. Железов, С., ТерАрт, с. 64-79/ Dobrev, N., P. Ivanov, B. Berov, M. Krastanov, B. Mihalkova (2013) Landslides. In: G. Zhelezov (ed.) Technical guide – Hazard assessment and mitigation in the Danube floodplain. Calafat–Vidin –Turnu Magurele–Nikopol sector. Sofia: TerArt, pp. 64-79. (Bg)

Железов, Г. (2014) Интегрирана оценка на природния и технологичния риск в Дунавската равнина в румънско-българския трансграничен участък Калафат–Видин–Турну Мъгуреле–Никопол. – Проблеми на географията, кн. 1–2, Изд. БАН „Проф. М. Дринов“, с. 3–10/ Zhelezov, G. (2014) Romanian – Bulgarian cross-border joint natural and technological hazards assessment in the Danube floodplain. The Calafat–Vidin–Turnu Magurele–Nikopol sector. *Problems of geography,* 1-2, Izd. BAN “Prof. M. Drinov”, 3-10. (Bg)

Коцев, Ц., А. Бендерев, Г. Железов, С. Роман, А. Бела, М. Миклеан, М. Сима, М. Димитрашку (2013) Технологични опасности. – В: Оценка и превенция на риска в Дунавската равнина (регион Калафат–Видин–Турну Магуреле–Никопол), ред.актор Г. Железов, С., ТерАрт, с. 186-256/ Kotsev, T., Benderev, A., Zhelezov, G., Roman, C., Bela, A., Miclean, M., Sima, M. and Dumitraşcu, M. (2013) Technological hazards. In: G. Zhelezov (ed.) Technical guide – Hazard assessment and mitigation in the Danube floodplain. Calafat–Vidin–Turnu Magurele–Nikopol sector. Sofia: TerArt, pp. 186-256. (Bg)

Коцев, Ц., Г. Железов (2014) Потенциални източници на химично замърсяване на заливната тераса на р. Дунав в участъка Калафат–Видин–Турну Мъгуреле–Никопол. – Проблеми на географията, кн. 1–2, Изд. БАН „Проф. М. Дринов“, 113-126/ Kotsev, Ts., G. Zhelezov (2014) Potential sources of chemical pollution of Danube floodplain sector between Vidin-Calafat and Nikopol-Turnu Magurele. *Problems of geography,* 1-2, Izd. BAN “Prof. M. Drinov”, 113-126 (Bg).

Матеева, З. (2013) Мъгли. – В: Оценка и превенция на риска в Дунавската равнина (регион Калафат–Видин–Турну Магуреле–Никопол), ред. Г. Железов, С., ТерАрт, с. 142-146/ Mateeva. Z. (2013) Fogs. In: G. Zhelezov (ed.) Technical guide – Hazard assessment and mitigation in the Danube floodplain. Calafat–Vidin–Turnu Magurele–Nikopol sector. Sofia: TerArt, pp. 142-146. (Bg)

Матеева, З., К.-С. Драгота, И. Григореску (2013a) Биоклиматична опасност от екстремни студове. – В: Оценка и превенция на риска в Дунавската равнина (ре-

гион Калафат–Видин–Турну Магуреле–Никопол), ред. Г. Железов, С., ТерАрт, с. 156-163/ Mateeva. Z., C.-S. Dragota, I. Grigorescu (2013) Cold bioclimatic hazard. In: G. Zhelezov (ed.) Technical guide – Hazard assessment and mitigation in the Danube floodplain. Calafat–Vidin–Turnu Magurele–Nikopol sector. Sofia: TerArt, pp. 156-163. (Bg)

Матеева, З., К.-С. Драгота, И. Григореску (2013б) Климатичен потенциал за замърсяване/самоочистване на атмосферата. – В: Оценка и превенция на риска в Дунавската равнина (Калафат–Видин–Турну Магуреле–Никопол), ред. Г. Железов, С., ТерАрт, с. 164-173/ Mateeva. Z., C.-S. Dragota, I. Grigorescu (2013) Climatic potential for air pollution. In: G. Zhelezov (ed.) Technical guide – Hazard assessment and mitigation in the Danube floodplain. Calafat–Vidin–Turnu Magurele–Nikopol sector. Sofia: TerArt, pp. 164-173. (Bg)

Матеева, З., К.-С. Драгота, И. Григореску (2013в) Опасности с физиологична и здравна значимост. – В: Оценка и превенция на риска в Дунавската равнина (регион Калафат–Видин–Турну Магуреле–Никопол), ред. Г. Железов, С., ТерАрт, с. 147-155/ Mateeva. Z., C.-S. Dragota, I. Grigorescu (2013) Hazard with physiologic and health significance. In: G. Zhelezov (ed.) Technical guide – Hazard assessment and mitigation in the Danube floodplain. Calafat–Vidin–Turnu Magurele–Nikopol sector. Sofia: TerArt, pp. 147-155. (Bg)

Мишев, К. (1959) Геоморфоложки изследвания на Дунавската хълмиста равнина между реките Видбол и Огоста. – Известия на Географския институт, т. IV, Изд. БАН, С., с. 27-83/ Mishev, K. 1959. Geomorphologic investigations in Danube hilly plain between the rivers Vidbol and Ogosta. *News from the Geographical institute*, 4, Izd. BAN, 27-83 (Bg).

Николов, В. 2016. Геоморфоложка карта на терасите в крайдунавската низина Побрежие. – В: Сб. доклади научна конференция „Географски аспекти на планирането и използването на територията в условията на глобални промени“, гр. Вършец, България, 23–25.09 2016 г./ Nikolov, V. (2016) In Proceeding Papers of Scientific Conference “Geographical aspects of territorial planning and use in the Global change conditions”, 23-25 September 2016 (Bg).

Николова, М., К-С. Драгота, И. Григореску, С. Недков, Г. Кучица (2013а) Мразове и слани. – В: Оценка и превенция на риска в Дунавската равнина (регион Калафат–Видин–Турну Магуреле–Никопол), ред. Г. Железов, С., ТерАрт, с. 125-130/ Nikolova, M., C-S, Dragota, I. Grigorescu, S. Nedkov, G. Kucsicsa (2013) Hoarfrost. In: G. Zhelezov (ed.) Technical guide – Hazard assessment and mitigation in the Danube floodplain. Calafat–Vidin–Turnu Magurele–Nikopol sector. Sofia: TerArt, pp. 125-130. (Bg)

Николова, М., К-С. Драгота, И. Григореску, С. Недков, Г. Кучица (2013б) Град. – В: Оценка и превенция на риска в Дунавската равнина (регион Калафат–Видин–Турну Магуреле–Никопол), ред. Г. Железов, С., ТерАрт, с. 130-136/ Nikolova, M., C-S, Dragota, I. Grigorescu, S. Nedkov, G. Kucsicsa (2013) Hail hazard. In: G. Zhelezov (ed.) Technical guide – Hazard assessment and mitigation in the Danube floodplain. Calafat–Vidin–Turnu Magurele–Nikopol sector. Sofia: TerArt, pp. 130-136. (Bg)

Николова, М., С. Недков (2012) Рискът от наводнения. ГИС моделиране на промените в околната среда за оценка на риска от наводнения. – В: Оценка и превенция на риска в Дунавската равнина (регион Калафат–Видин–Турну Магуреле–Никопол), ред. Г. Железов, С., ТерАрт, 248 стр./ Nikolova, M., St. Nedkov (2012) Flood risk. GIS modeling of environmental changes for flood risk assessment. In: G. Zhelezov (ed.) Technical guide – Hazard assessment and mitigation in the Danube floodplain. Calafat–Vidin–Turnu Magurele–Nikopol sector. Sofia: TerArt, p. 248. (Bg)

Николова, М., С. Недков (2013) Опасност от наводнения. – В: Оценка и превенция на риска в Дунавската равнина (регион Калафат–Видин–Турну Магуреле–Никопол), ред. Г. Железов, С., ТерАрт, с. 174-185/ Nikolova, M., S. Nedkov (2013) Flood hazard. In: G. Zhelezov (ed.) Technical guide – Hazard assessment and mitigation in the Danube floodplain. Calafat–Vidin–Turnu Magurele–Nikopol sector. Sofia: TerArt, pp. 174-185. (Bg)

Ножаров, П. (2013) Опасност от интензивни валежи. – В: Оценка и превенция на риска в Дунавската равнина (регион Калафат–Видин–Турну Магуреле–Никопол), ред. Г. Железов, С., ТерАрт, с. 137-141/ Nojarov, P. (2013) Heavy precipitation hazard. In: G. Zhelezov (ed.) Technical guide – Hazard assessment and mitigation in the Danube floodplain. Calafat–Vidin–Turnu Magurele–Nikopol sector. Sofia: TerArt, pp. 137-141. (Bg)

Черкезова, Е. (2019) ГИС-базирана идентификация на формите на релефа в Арчаро-Орсойската низина (Северозападна България), Проблеми на географията, кн. 3–4, Изд. БАН „Проф. М. Дринов“, 73-86/ Tcherkezova, E. (2019) GIS-based landform identification in archaro-orsoyska lowland (Northwestern Bulgaria). *Problems of geography,* 3-4, Izd. BAN "Prof. M. Drinov", 73-86 (Bg).

Черкезова, Е., С. Недков (2014) Проектиране на пространствена база данни за оценка на природните и технологичните опасности по дунавския бряг в района Видин – Никопол. – Проблеми на географията, кн. 1–2, Изд. БАН „Проф. М. Дринов“, с. 33-42/ Tcherkezova, E., St. Nedkov (2014) Design of a geodatabase for assessment of natural and technological risk. Case study Vidin – Nikopol, Bulgaria. *Problems of geography,* 1-2, Izd. BAN "Prof. M. Drinov", 33-42 (Bg).

Aleotti, P., R. Chowdhury (1999) Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 58, 21–44.

Backman B., D. Bodis, P. Laherm, S. Rapant, T. Tarvainen (1998) Application of a groundwater contamination index in Finland and Slovakia. *Environmental Geology*, 36(1–2), 55–64.

Bird, G., P. Brewer, M. Macklin (2003) The solid-state partitioning of contaminant metals and As in river channel sediments of the mining affected Tisa drainage basin, northwestern Romania and eastern Hungary. *Applied Geochemistry,* 18, 1583–1595.

Bird, G., P. Brewer, M. Macklin, M. Nikolova, T. Kotsev, C. Swain (2010a) Dispersal of Contaminant Metals in the Mining-Affected Danube and Maritsa Drainage Basins, Bulgaria, Eastern Europe. *Water Air Soil Pollution,* 206(1), 105-127.

Bird, G., P. Brewer, M. Macklin (2010b) Management of the Danube drainage basin: implications of contaminant-metal dispersal for the implementation of the EU Water Framework Directive. *Intl. J. River basin management*, 8(1), 63-78

Bird, G., P. Brewer, A. Macklin, M. Nikolova, Ts. Kotsev, M. Mollov, S. Catherine (2010c) Pb isotope evidence for contaminant-metal dispersal in an international river system: The lower Danube catchment, Eastern Europe. *Applied Geochemistry,* 25(7), 1070-1084.

Bojakowska, O., J. Kozłowska, D. Kucharzyk, J. Lech, Szymborska-Kaszycka (2010) Heavy Metals in Soils of the Wieprz River Floodplains. 15th International Conference on Heavy Metals in the Environment, 19-23 September 2010 Gdańsk, Poland, 766 -769.

Carrara A., M. Cardinali, F. Guzzetti, P. Reichenbach (1995) GIS Technology in Mapping Landslide Hazard. In: Carrara A., Guzzetti F. (eds) Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards. Advances in Natural and Technological Hazards Research. Dordrecht: Springer 5, 135-175.

Ciszewski D., T. Grygar (2016) A Review of Flood-Related Storage and Remobilization of Heavy Metal Pollutants in River Systems. *Water Air Soil Pollut,* 227(239), 1-19.

Clare M.A., P.J. Talling, P.G. Challenor, J.E. Hunt (2016) Tempo and Triggering of Large Submarine Landslides: Statistical Analysis for Hazard Assessment. In: Lamarche G. et al. (eds) Submarine Mass Movements and their Consequences. Advances in Natural and Technological Hazards Research. Cham: Springer, 41, 509-517.

Comero, S., S. Vaccaro, G. Locoro, L. De Capitani, B. Gawlik (2014) Characterization of the Danube River sediments using the PMF multivariate approach. *Chemosphere,* 95, 329-335.

Crichton, D. (1999) The Risk Triangle. In Ingleton, J. (ed.). Natural Disaster Management. London: Tudor Rose, 102-103.

Ehlert, K. (2016) Impacts of iron and manganese on arsenic speciation and bioaccessibility in contaminated floodplain soil, Doctoral Thesis, ETH Zurich. [Online]. Available from: https://doi.org/10.3929/ethz-a-010818726.

Fell, R., J. Corominas, C., Bonnard, L., Cascini, E. Leroi, W.Z. Savage (2008). Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning. *Engineering Geology*, 102, 85-98.

Galderisi, A., A. Ceudech, M. Pistucci (2008) A method for na-tech risk assessment as supporting tool for land use planning mitigation strategies. *Natural Hazards,* 46, 221–241.

Garatwa, W., C. Bollin (2002) Disaster Risk Management. Working Concept. Eschborn: GTZ, 48pp.

Gardenier, J., R. B. Keey (1992) Risk Assessment of Industrial and Natural Hazards. Centre for Advanced Engineering, University of Canterbury, 1st ed., 191 p.

Gyosheva, B., R. Hristova, V. Valchev (2017) Heavy metal concentrations in several wetlands situated on three Bulgarian Danube tributaries. *Year Book of Sofia University,* 102(4), 80-88.

Horspool, N., I. Pranantyo , J. Griffin, H. Latief, D. Natawidjaja, W. Kongko, A. Cipta, B. Bustaman, S. D. Anugrah, H. K. Thio (2014) A probabilistic tsunami hazard assessment for Indonesia. *Natural Hazards Earth System Sciences,* 14, 3105–3122.

Hristov, S. (2010) Circulation of some heavy metals in the freshwater ecosystem of the Srebarna biosphere reserve. *Ecology & Safety,* 4(2), 204-213.

Ingersoll C. and D. MacDonald (2002) A Guidance Manual to Support the Assessment of Contaminated Sediments in Freshwater Ecosystems. Volume III. Interpretation of the Results of Sediment Quality Investigations. Las Vegas: USEPA, 232 p.

Katutis K., A. Rudzianskaitė (2015) The fluctuation of calcium and magnesium concentrations in the floodwater in the Nemunas and Minija lowlands. *Zemdirbyste-Agriculture,* 102(3), 257–264.

Konradi, E., T. Frentiu, M. Ponta, C. Roman, A. Cozmuta, E. Cordos (2006) Preliminary study regarding heavy metal pollution of soil around the Bozanta Mare tailing dam. *Environment&Progress,* 6, 245-250.

Koulov, B. (2014) Geographic perspectives on technological hazards and their mitigation. *Problems of geography,* 1-2, Izd. BAN "Prof. M. Drinov", 43-63.

Laing, D., G.J. Rinklebe, B. Vandecasteele, E. Meers, F. M. G. Tack (2009) Trace Metal Behaviour in Estuarine and Riverine Floodplain Soils and Sediments: A Review. *Science of Total Environment,* 407(13), 3972-85.

Lari, S., P. Frattini, G. Crosta (2009) Integration of natural and technological risks in Lombardy, Italy. *Natural Hazards Earth System Sciences,* 9, 2085–2106.

Liška, I., F. Wagner, M. Sengl, K. Deutsch, J. Slobodník (eds.) (2015) Joint Danube Survey 3. Vienna: International Commission for the Protection of the Danube River.

Macklin M., P. Brewer, K. Hudson-Edwards, G. Bird, T. Coulthard, I. Dennis, P. Lechler, J. Miller, J. Turner (2006) A geomorphological approach to the management of rivers contaminated by metal mining. *Geomorphology,* 79(3–4), 423-447.

Macklin, M., P. Brewer, D. Balteanu, T. Coulthard, B. Driga, A. Howard, S. Zaharia (2003) The long term fate and environmental significance of contaminant metals released by the January and March 2000 mining tailings dam failures in Maramures County, upper Tisa Basin, Romania. *Applied Geochemistry,* 18, 241–257.

Mateeva, Z., C-S Dragotă, I Grigorescu (2014) Hazardous bioclimatic conditions in the danube river adjacent regions during the cold part of the year (Calafat - Vidin - Turnu Măgurele – Nikopol sector of the Danube). *Problems of geography,* 1-2, Izd. BAN "Prof. M. Drinov", 127-136.

Metternicht, G., H. Lorenz, G. Radu (2005) Remote sensing of landslides: An analysis of the potential contribution to geo-spatial systems for hazard assessment in mountainous environments. *Remote Sensing of Environment,* 98(2–3), 284-303.

Middelkoop, H. (2000) Heavy-metal pollution of the river Rhine and Meuse floodplains in the Netherlands. *Geologie en Mijnbouw/Netherlands Journal of Geosciences,* 79(4), 411-428.

Mitsch, W. J., J. G. Gosselink (2015) Wetlands. Wiley, 5, 456 p.

Nojarov, P. (2014) precipitation-related hazards in Vidin-Nikopol Danube floodplain sector – current state and tendencies. *Problems of geography,* 1-2, Izd. BAN "Prof. M. Drinov", 137-152.

Pavlović, P., M. Mitrović, D. Đorđević, S. Sakan, J. Slobodnik, I. Liška, B. Csanyi, S. Jarić, O. Kostić, D. Pavlović, N. Marinković, B. Tubić, M. Paunović (2015) Assessment of the contamination of riparian soil and vegetation by trace metals — A Danube River case study. *Science of The Total Environment,* 540, 396-409.

Ricking, M., K. Terytze (1999) Trace metals and organic compounds in sediment samples from the River Danube in Russe and Lake Srebarna (Bulgaria). *Environmental Geology,* 37, 40–46.

Schneiderbauer, S., D. Ehrlich (2004) Risk, Hazard and People's Vulnerability to Natural Hazards: a Review of Definitions, Concepts and Data. Technical Report. JRC, 40 pp.

Smith, K. (1992) Environmental Hazards- Assessing Risk and Reducing Disaster, Routledge, 1st ed.: 324 p.

Stoyanova, V., T. Kotsev, R. Kretzschmar, K. Barmettler (2018) Concentration of arsenic in the soils of the Danube floodplain between the Timok River and the Vit River. SGEM Conference Proceedings, ISBN 978-619-7408-43-0/ISSN 1314-2704. Albena res., 30 June - 9 July, 2018, 18 (3.2), 71-78.

Stoyanova, V., T. Kotsev, G. Zhelezov, M. Sima, E-A. Levei (2019) Copper concentration in the soils of the Danube floodplain between the rivers Timok and Vit Northwestern Bulgaria. *European Journal of Geography,* 10(2), 134-149.

Strachan, C. (1984) Engineering Risk: Report of the President's Task Committee on Professional Practice and Risk. [Online]. Available from: https://search.informit.com.au/documentSummary;dn=215901219582784;res=IELENG. [Assessed: 08.04.2020].

Szabó, Z., B. Buró, J. Szabó, C. Tóth, E. Baranyai, P. Herman, J. Prokisch, T. Tomor, S. Szabó (2020) Geomorphology as a driver of heavy metal accumulation patterns in a floodplain. *Water 12*(2), 563.

Temesgena, B., M. U. Mohammeda, T. Kormea (2001) Natural hazard assessment using GIS and remote sensing methods, with particular reference to the landslides in the Wondogenet Area, Ethiopia. Physics and Chemistry of the Earth, Part C: Solar, *Terrestrial & Planetary Science,* 26(9), 665-675.

Thapinta, A., P. F. Hudak (2003) Use of geographic information systems for assessing groundwater pollution potential by pesticides in Central Thailand. *Environment International,* 29(1), 87-93.

Uricchio, V., R. Giordano, N. Lopez (2004) A fuzzy knowledge-based decision support system for groundwater pollution risk evaluation. *Journal of Environmental management,* 73, 189-197.

Varners, D. (1984) Landslide hazard zonation: a review of principles and practice. Natural Hazards 3, Paris: UNESCO, 63 p. [Online]. Available from: http://unesdoc.unesco.org/images/0006/000630/063038EB.pdf. [Assessed: 09.03.2020].

Vatseva, R. (2014) Mapping and visualization of natural and echnological hazards. *Problems of geography,* 1-2, Izd. BAN "Prof. M. Drinov", 26-32.

Westen C., A. Castellanos, L.K. Sekhar (2008) Spatial data for landslide susceptibility, hazards and vulnerability assessment: an overview. *Engineering geology,* 102(3-4), 112-131.

Westen, C. (2010) Remote Sensing and GIS for Natural Hazards Assessment and Disaster Risk Management. [Online]. Available from: https://www.researchgate.net/profile/Francesca_Bovolo/publication/224201465_A_conceptual_framework_for_change_detection_in_very_high_resolution_remote_sensing_images/links/5416d3e10cf2788c4b35eb87.pdf. [Assessed: 3.04.2020]

Winkels, H., S.B. Kroonenberg, M.Y. Lychagin, G. Marin, G.V. Rusakov, N.S. Kasimov (1998) Geochronology of priority pollutants in sedimentation zones of the Volga and Danube delta in comparison with the Rhine delta. *Applied Geochemistry,* 13(5), 581-591.

Woitke, P., J. Wellmitz, D. Helm, P. Kube, P. Lepom, P. Litheraty (2003) Analysis and assessment of heavy metal pollution in suspended solids and sediments in the River Danube. *Chemosphere* 51:633–642.

***FEMA** (n.d.) Technological Hazards. Part II. [Online]. Available from: https://www.fema.gov/media-library-data/20130726-1545-20490-2423/mhira_te.pdf. [Assessed: 08.04.2020].

***UNISDR** (2004) Terminology of disaster risk reduction. United Nations, International Strategy for

Disaster Reduction. Geneva: Switzerland. [Online]. Available from: http://www.unisdr.org/eng/library/lib-terminologyeng%20home.htm. [Assessed: 03.04.2020].