

ПРИЛОЖИМОСТ НА ИНДЕКС МЕТОДИТЕ ОТ ТИПА DRASTIC ЗА ОЦЕНКА НА УЯЗВИМОСТТА НА ПОДЗЕМНИТЕ ВОДИ ОТ ЗАМЪРСЯВАНЕ С АРСЕН

Велимира Стоянова

В статията е представен преглед на съществуващите методи за оценка на уязвимостта от замърсяване на подземните води и подбор на показатели за оценка на уязвимостта от замърсяване с арсен на подземните води в заливните речни тераси.

Ключови думи: арсен, уязвимост, подземни води, DRASTIC, DRARCH

ВЪВЕДЕНИЕ

Подземните води са важен и необходим природен ресурс – източник за питейно-битово и техническо водоснабдяване в много райони по света, включително и в България. През последния и настоящия век обаче проблемите със замърсяването им стои все по-остро. Замърсители на подземните води са земеделието (изкуствени торове, хербициди, пестициди), индустрията при добив и обогатяване на руди на цветни и черни метали, аварийни технологични разливи от хвостохранилища и населените места (селища без канализация, аварии в канализационната мрежа, битови отпадъци и др.).

В края на XX в. и началото на XXI в. много актуален е проблемът, свързан със замърсяването с арсен на подземните води в заливните речни тераси, поради което и в настоящата разработка се отделя специално внимание.

Продължителното използване на вода, замърсена с арсен, според Агенцията за опазване на околната среда на САЩ (EPA), причинява ракови заболявания на кожата – болест на Боуен, базално-клетъчен карцином (фиг. 1), черния дроб (разширяване на черния дроб и цироза), пикочния мехур, лимфом (тумор в лимфните възли) и др. (A u r e l i, 2006). След провеждане на лабораторни изследвания в Северна Каролина през 2001 г. екип от учени на EPA публикува доклад, в който са представени резултати, показващи увреждане на ДНК от арсенови съединения (F e n q et al., 2001).

През последните години актуален е и въпросът за безопасността на храните при продължителна употреба на подземни води с повишено съдържание



Фиг. 1. Базално-клетъчен синдром (източник SOES)

на арсен за напояване, чрез които арсенът се натрупва в културите, а от тях и в живите организми (T u i n h o f et al., 2006; К о ц е в и др., 2009).

Значителна част от изследванията в световен мащаб през последното десетилетие са фокусирани върху характеризирани появата и разпространението на арсен във водите и върху проучване на процесите на мобилността му в подземните води и водоносните хоризонти (F a z a l et al., 2001).

Замърсявания с арсен на водоносните хоризонти са установени в много райони по света: в Азия – Бангладеш, Китай, Индия, Непал, Тайван (F a z a l et. al



Фиг. 2. Схема на замърсяване на подземните води с арсен по райони (изготвена от R a h m a n et al., 2006)

2001; Tuinhof et al 2006; Smedley, 2008;); Северна Америка – Мексико; Южна Америка – Аржентина, Чили (Verlin et al., 2001; Rodriguez et al., 2002); Европа – Полша, Унгария, Испания и др. (Jain et al., 2000) (фиг. 2).

В световен мащаб, с най-голям обхват е замърсяването с арсен на подземните води в заливната речна тераса на реките Ганг и Брахмапутра в Азия. Арсенът постъпва във водоносните хоризонти по естествен път. В Бангладеш и Индия около 120 млн. души са изложени на риск за здравето си, защото използват подземните води за битови и промишлени нужди. Друг район с подобен проблем е долината на р. Саламанка в Мексико, където подземните ненапорни води в долината на реката се характеризират с високи концентрации на арсен. Произходът на повишеното съдържание на арсен не е установен. В този район подземните води са единственият източник на питейна вода за повече от 140 000 души (Verlin et al., 2001; Rodriguez et al., 2002).

В България са установени повишени съдържания на арсен в повърхностните и подземните води в поречията на Тополница и Огоста. Повишеното съдържание на арсен по р. Тополница е вследствие на естествени геоложки причини – наличие на рудни минерализации в скалите (Бърдарска и др., 2009) и на добив на медни руди в Медет и др. По р. Огоста повишеното съдържание на арсен е резултат от добива на оловно-сребърна, желязна руда и злато в района на гр. Чипровци и с. Мартиново, осъществяван в периода от 1951 г. до първата половина на 1999 г. (Кочев, 2006).

Целта на настоящата работа е преглед на съществуващите методи за оценка на уязвимостта от замърсяване на подземните води и подбор на допълнителни показатели за оценка на уязвимостта от замърсяване с арсен на подземните води в заливните речни тераси.

УЯЗВИМОСТ НА ПОДЗЕМНИТЕ ВОДИ ОТ ХИМИЧНО ЗАМЪРСЯВАНЕ

СЪЩНОСТ НА КОНЦЕПЦИЯТА ЗА УЯЗВИМОСТ НА ПОДЗЕМНИТЕ ВОДИ ОТ ЗАМЪРСЯВАНЕ

Концепцията е създадена в края на 60-те години и е широко прилагана през 80-те и 90-те години на XX в. Първото определение за уязвимост от замърсяване на подземните води е на Margat (1968), което гласи: „нивото на защита, което природната среда предоставя срещу разпространение на замърсители в подземните води“. Дефиницията се изменя и допълва, но до днес не съществува стандартно определение. Според Vrbá, Zaporozec (1994) уязвимостта от замърсяване на подземните води представя териториалните различия в условията за замърсяване на подземните води от постъпващи външни замърсители, а според Hrkál (2001) – „тенденцията и вероятността, замърсители да достигнат подземните води от повърхността“ (Jamil, 2011).

Според нас под уязвимост на подземните води трябва да се разбира *възможността химични вещества, продукт от антропогенна дейност, да достигнат водното ниво, да останат в разтворено състояние и да надхвърлят*

нормативно установените максимално¹ допустими концентрации (МДК) в подземните води.

Уязвимостта на подземните води е два вида:

Присъща – уязвимост на подземните води от замърсяване с различни вещества, при което не се отчитат специфичните свойства на замърсителя, а се вземат под внимание само природните особености на територията – дълбочина на водоносния хоризонт, водопропускливост на скалите, климатични особености на територията – валежи и изпарение, почви и др. (L i g g e t t, T a l w a r, 2009).

Специфична – представя уязвимостта на подземните води от конкретен замърсител или група от замърсители, като се вземат в предвид техните специфични свойства и взаимодействието им със средата, през която преминават (K r a l i k, 2001).

МЕТОДИ ЗА ОЦЕНКА НА УЯЗВИМОСТТА НА ПОДЗЕМНИТЕ ВОДИ

За оценка на уязвимостта на подземните води са разработени различни методи, които могат да бъдат разделени в три групи: индекс методи – DRASTIC (САЩ), GLA (Германия), PI (Германия), SINTACS (Италия), ЕРІК (Швейцария), GSI (Ирландия), REKS (Словакия), ZEIT – INPUT (Австрия), COP, GOD, DRAV, AVI, SEEPAGE, SPISP, SALUFT и др.; статистически (математически) – статистически изводи и проверки на хипотези – тест на Стюдънт (t – тест), корелационен анализ, регресионен анализ, интерполация; симулационни методи – триизмерни модели (L i g g e t t, T a l w a r, 2009). Според A n t o n a k o s et al. (2007) съществуват и хибридни методи, които включват комбинация от индекс, статистически (математически) и симулационни методи.

Индекс методите са най-широко използваните методи за оценка на уязвимостта на подземните води от химично замърсяване. Предимство на тези методи е, че използват общодостъпни данни и изискват малко средства при разработването им (T h a p i n t a, H u d a k, 2003). След анализ на съществуващата информация тя може да бъде организирана в различни слоеве с помощта на географски информационни системи (ГИС). Индекс методите се основават на комбинирането на данни за различни фактори от околната среда (дълбочина на подземните води, литология, топография, почвена покривка и др.), като на всеки фактор се дава оценка. Индекс методите намират широко приложение за оценка на карстови територии (V l a i s u, 2006), за оценка на уязвимостта на подземните води от замърсяване с пестициди (L o w e et al., 2003) и нитрати (A n t o n a k o s et al., 2007). Прилагат се също така и при оценка на уязвимостта от замърсяване с тежки метали и арсен (B e r l i n et al., 2001; R o d r i g u e z et al., 2002).

Статистическите (математически) методи са по-сложни от индекс методите и изискват данни от наблюдения за по-дълъг период от време. Получените с тях резултати могат лесно да бъдат проверени и тези методи се смятат за едни от най-точните.

¹ използваното определение „пределно допустими концентрации“ (ПДК) се заменя с „максимално допустими концентрации“ (МДК)

Симулационните методи включват модели с различна степен на сложност – триизмерни модели, мета-модели, и са използвани за оценка на уязвимостта от замърсяване на подземните води с нитрати и пестициди (A n t o n a k o s e t al., 2007, P i n e r o s e t al., 2006). Симулационните методи са най-съвременният начин за представяне на уязвимостта на подземните води от замърсяване, като за тази цел са разработени различни софтуерни продукти (B u t s c h e r, 2007). За моделиране транспортирането на замърсителите в ненаситената и наситената зона се използват различни софтуерни продукти, като GOKAD, Modflow, PHREEQC, HYDROS, HPI и др. Най-широко използваният софтуер е GOKAD. За създаването на модели с помощта на този софтуер се използват показатели, като подхранване на подземните води, литология, почви, растителна покривка и др.

Изборът на най-подходящия метод за картографиране на уязвимостта на подземните води, който да бъде използван за дадена територия, зависи от наличието на данни и за геоморфоложките и хидрогеоложките характеристики на района. Например, за оценка на уязвимостта на подземните води в карстови райони широко приложение намират индекс методите ЕРІК, РІ, СОР, GOD и др., създадени специално за карстови терени. При оценяване на уязвимостта от конкретен замърсител е подходящо да се използват методи, разработени конкретно за него. В много случаи е невъзможно да бъде установен единен критерий за различните видове замърсители, защото част от факторите, благоприятстват миграцията на едни замърсители, а възпрепятстват разпространението на други.

МЕТОДЪТ DRASTIC

DRASTIC е най-широко използваният метод при оценка на уязвимостта на подземните води от замърсяване. Разработен е от Агенцията по околна среда на САЩ. Първата публикация за този метод е от 1987 г. от A l l e r e t al. DRASTIC може да бъде лесно интегриран и използван и днес чрез ГИС. Методът се прилага в много страни: САЩ, Израел (M e l l o u l e t al., 2003), Португалия (L o b o – F e r r e i r a, O l i v e i r a, 1997), ЮАР (L y n c h, 1997), Китай (Y a n g, L u a n, 1999) и др.

В DRASTIC метода се използват общодостъпни данни за седем фактора: дълбочина до нивото на подземните води – D; подхранване на подземните води – R; литоложки строеж на водоносния хоризонт – A; почвена покривка – S; топография (наклон на терена) – T; въздействие на зоната на аерация – I; хидравлична проводимост на водоносния хоризонт – C.

DRASTIC индексът се изчислява по следната формула:

$$D_i = D_R D_W + R_R R_W + A_R A_W + S_R S_W + T_R T_W + I_R I_W + C_R C_W, \text{ където:}$$

D_i – DRASTIC индекс, R – рейтинг (класификационна стойност), W – тежест на параметъра.

Всеки DRASTIC фактор се характеризира с определена тежест (W), варираща от 1 до 5 (табл. 1). Най-значителните фактори са с тежест 5, а най-малко значимите – с 1. Тези стойности са константни величини и не могат да бъдат променяни. Единствено за оценката на уязвимост на подземните води от замърсяване с пестициди се прилагат други стойности за теглото. Всеки DRASTIC

фактор се характеризира с определен рейтинг (оценка) (R), вариращ от 1 до 10 и подобно на тежестта са константни величини.

Т а б л и ц а 1

Параметри и тежест в DRASTIC (no Aller et al., 1987)

Параметър		Тежест
D	Дълбочина до нивото на подземните води	5
R	Подхранване на подземните води (модул на подземния отток)	4
A	Литоложки строеж на водоносния хоризонт	3
S	Почвена покривка	2
T	Топография (наклон на терена)	1
I	Въздействие на зоната на аерация	5
C	Филтрационни свойства на водоносния хоризонт	3

Дълбочина до нивото на подземните води (D)

Показателят е от изключителна важност, защото определя дълбочината до нивото на подземните води. Като цяло опасността от замърсяване намалява с увеличаване на дълбочината им.

Т а б л и ц а 2

Класификация и оценка – дълбочина на подземните (грунтови) води (no Aller et al., 1987)

Класификация (фута)	Класификация (m)	Оценка
0 – 5	0 – 1,5	10
5 – 15	1,5 – 4,6	9
15 – 30	4,6 – 9,1	7
30 – 50	9,1 – 15,2	5
50 – 75	15,2 – 22,9	3
75 – 100	22,9 – 30,5	2
100+	30,5+	1

Подхранване на подземните води (R)

Този показател представя подхранването на подземните води, което основно е от валежите и повърхностните води, както и от напояването на земедел-

ските земи и разливите на отпадъчни води, които се инфилтрират през земната повърхност и достигат до нивото на подземните. При по-високи стойности на модула на подхранване на подземните води рискът от замърсяването им е по-голям.

Т а б л и ц а 3

Класификация и оценка – подхранване на подземните води

Класификация (инчове) (по Aller et al., 1987)	Класификация (mm)	Оценка
0 – 2	0 – 50,8	1
2 – 4	50,8 – 101,6	3
4 – 7	101,6 – 177,8	6
7 – 10	177,8 – 254	8
10+	254+	9

Литоложки строеж на водоносния хоризонт (А)

Под литоложки строеж на водоносния хоризонт се разбира видът на скалите, които изграждат района – варовик, шисти, метаморфни, магмени скали, пясъци, чакъли и др.

Т а б л и ц а 4

*Класификация и оценка литоложки строеж на водоносния хоризонт
(по Aller et al., 1987)*

Класификация	Оценка	Типична оценка
Масивни шисти	1 – 3	2
Метаморфни или магмени скали	2 – 5	3
Изветрели метаморфни или магмени скали	3 – 5	4
Ледникови отложения	4 – 6	5
Наслоени пясъчници, варовици и шисти	5 – 9	6
Масивен пясъчник	4 – 9	6
Масивен варовик	4 – 9	8
Пясък и чакъл	4 – 9	8
Базалт	2 – 10	9
Карстов варовик	9 – 10	10

Почва (S)

В този показател се разглежда типът почва, нейният гранулометричен състав, както и съдържанието на глина.

Т а б л и ц а 5

*Класификация и оценка – механичен състав на почвата
(no Aller et al., 1987)*

Класификация	Оценка
Несвиваща се глина	1
Аморфен тор	2
Глинеста почва	3
Алевритова почва	4
Алеврото-глинеста почва	5
Глинесто – пясъчлива почва	6
Свиваща и/или агрегатна глина	7
Торф	8
Пясък	9
Гравий	10
Тънък или липсващ слой	10

Топография (наклон на терена) (T)

От топографията зависи продължителността на задържане на замърсителя на повърхността и инфилтрирането му до нивото на подземните води. Малките наклони са предпоставка за продължително задържане на замърсителя на повърхността и предпоставка за постъпването му в плитко залягащите подземни води.

Т а б л и ц а 6

Класификация и оценка – топография (no Aller et al., 1987)

Класификация (% наклон)	Оценка
0-2	10
2-6	9
6-12	5
12-18	3
18+	1

Въздействие на зоната на аерация (I)

Зоната на аерация е зоната над свободното водно ниво, която е частично водонаситена и където замърсителите взаимодействат със средата посредством процесите на неутрализация, утаяване, дисперсия, сорбция и др. Изборът на геоложката среда в зоната на аерация в модела DRASTIC се определя от вида на водоносния хоризонт. При безнапорен водоносен хоризонт се избира пластът най-близо до водното ниво, който оказва най-силно влияние върху потенциала на замърсяване на подземните води (Петков и др., 2005).

Т а б л и ц а 7

*Класификация и оценка – литоложки строеж на зоната на аерация
(по Aller et al., 1987)*

Класификация	Оценка	Типична оценка
Напорен пласт (горен водоупор)	1	1
Алевролит/глина	2–6	3
Шисти	2–5	3
Метаморфни или магмени скали	2–8	4
Пясъчник	4–8	6
Нespoени варовици, пясъчници и шисти	4–8	6
Пясък и чакъл с глина	4–8	6
Варовик	2–7	6
Пясък и чакъл	6–9	8
Базалт	2–10	9
Карстов варовик	8–10	10

Филтрационни свойства на водоносния хоризонт (C)

Филтрационните свойства се изчисляват чрез пропускливостта и коефициента на филтрация.

Т а б л и ц а 8

Класификация и оценка – филтрационните свойства на водоносния хоризонт

Класификация (по Aller et al., 1987) (GPD/FT ²)	Класификация (по Петков и др., 2005) (m/d)	Оценка
1–100	0,04–0,432	1
100–300	0,432–4,32	2
300–700	12,96–29,38	4
700–1000	29,38–43,20	6
1000–2000	43,20–82,08	8
2000+	82,08+	10

УЯЗВИМОСТ НА ПОДЗЕМНИТЕ ВОДИ ОТ ЗАМЪРСЯВАНЕ С АРСЕН

Арсенът постъпва в подземните води по естествен начин – в процеса на изветряне на скалите, в резултат на вулканична дейност, както и от антропогенна дейност – добив и обогатяване на руди на цветни и черни метали, аварийни технологични разливи от хвостохранилища, използване на пестициди в земеделието, производство на хартия и бои и др.

АРСЕН (As)

Арсенът (атомен номер 33) е химичен елемент от групата на металоидите. В околната среда съществува в две форми – органична и неорганична, и са познати около 300 арсенови минерала. Най-простите минерали на арсена, като арсенопирит (FeAsS), орпимент (As_2S_3) и др., са основни източници на арсен в природата (D g a s h o t a et al., 2009). Преминаването на арсена от арсенопирита в рудничните води се извършва при следната химична реакция $4\text{FeAsS} + 13\text{O}_2 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{FeSO}_4 + 4\text{H}_2\text{AsO}_4^-$. Преобладаващите химични форми на арсена в природните води са H_2AsO_4^- и HAsO_4^{2-} . Основните сорбенти на арсена са глинестите минерали, слабо кристализираните оксиди и хидроксиди на желязото и тежките метали. Арсенът се свързва най-лесно със съединенията на желязото и мангана и образува слабо разтворими съединения – $\text{Mn}_3(\text{AsO}_4)_2$ и FeAsO_4 . При неутрално рН и понижаване на окислително-редукционните условия на средата арсенът преминава от пета в трета валентност и съединенията му се характеризират с добра разтворимост. Интензивността на водна миграция е също много важен показател, който се характеризира с коефициента на водна миграция, предложен от П е р е л м а н през 1965 г. Според способността си да мигрира

във водна среда арсенът е средно подвижен с коефициент на водна миграция – 1 (Перелман, 1966).

МЕТОДИ ЗА ОЦЕНКА НА УЯЗВИМОСТТА НА ПОДЗЕМНИТЕ ВОДИ ОТ ЗАМЪРСЯВАНЕ С АРСЕН

В Китай екип от учени създават модификация на индексът DRASTIC за оценка на уязвимостта на подземните води от замърсяване с арсен и го наименуват DRARCH (Guo et al., 2007). В DRARCH отпадат някои от параметрите на DRASTIC и се добавят нови, които отразяват способността на миграция на арсена в геоложките хоризонти. Модифицираният индекс DRARCH подобно на DRASTIC е съкращение от първите букви на оценъчните фактори: дълбочина до нивото на подземните води, подхранване на подземните води, литоложки строеж на водоносния хоризонт, коефициент на натрупана глина в слоевете към общата дебелина на зоната на аерация, коефициент на абсорбция на замърсителите на седиментите в зоната на аерация; филтрационни свойства на водоносния хоризонт (табл. 9).

Таблица 9

Параметри в DRASTIC и DRARCH

Параметри DRASTIC		Параметри DRARCH	
D	Дълбочина до нивото на подземните води	D	Дълбочина до нивото на подземните води
R	Подхранване на подземните води	R	Подхранване на подземните води
A	Литоложки строеж на водоносния хоризонт	A	Литоложки строеж на водоносния хоризонт
S	Почвена покривка		–
T	Топография (наклон на терена)		–
	–	R	Коефициент на натрупана глина в слоевете към общата дебелина на зоната на аерация
I	Въздействие на зоната на аерация		–
C	Филтрационни свойства на водоносния хоризонт	C	Филтрационни свойства на водоносния хоризонт
	–	H	Коефициент на абсорбция на замърсителите от седиментите в зоната на аерация

Резултатите от изследването на Guo et al. (2007) показват значително припокриване на районите с висока уязвимост на водоносните хоризонти от замърсяване с арсен с териториите, където са измерени високи концентрации на елемента в подземните води. Въз основа на това би могло да се приеме, че

DRARCH моделът е подходящ за оценка на уязвимостта на подземните води от замърсяване с арсен, но могат да се посочат и някои недостатъци на метода в случай на приложението му за участъци в заливни речни тераси. Индексът не отчита особеностите на хидрогеоложките условия в заливната речна тераса и условията на плитко залягане – 1–5 m на подземните води в алувиалните отложения. В DRARCH не са включени параметри, които да характеризират ландшафтно-геохимичната обстановка, включително активната реакция (pH) на средата, съдържанието на Fe в почвата и водите, варирането на окислително-редукционните условия и др., които имат значение за миграцията на арсена.

ПОКАЗАТЕЛИ ЗА ОЦЕНКА НА УЯЗВИМОСТТА НА ПОДЗЕМНИТЕ ВОДИ ОТ ЗАМЪРСЯВАНЕ С АРСЕН В ЗАЛИВНИТЕ РЕЧНИ ТЕРАСИ

За оценка на уязвимостта на подземните води от замърсяване с арсен в заливните речни тераси предлагаме модификация на индекс метода DRASTIC.

Модифицираният индекс включва шест фактора, които подобно на DRASTIC се характеризират с определена тежест, варираща от 1 до 5 (таблица 10).

Т а б л и ц а 10

Параметри и тежест в DRASTIC (по Aller et al., 1987) и модифицирания индекс

Параметър		Тежест	Параметър		Тежест
D	Дълбочина до нивото на подземните води	5	D	Дълбочина до подземните (грунтови) води	5
R	Подхранване на подземните води	4	–	–	–
A	Литоложки строеж на водоносния хоризонт	3	–	–	–
–	–	–	E	Окислително-редукционен потенциал (Eh) на почвата	4
S	Почвена покривка	2	S	Механичен състав на почвата (физическа глина)	1
	–		P	Активна реакция (pH) на почвата	4
T	Топография (наклон на терена)	1		–	–
I	Въздействие на зоната на аерация	5	I	Литоложки строеж на зоната на аерация	5
C	Филтрационни свойства на водоносния хоризонт	3	C	Филтрационни свойства на водоносния хоризонт	3

Дълбочина до подземните (грунтови) води (D)

В заливните речни тераси се акумулират големи количества подземни води на малка дълбочина в интервала 1-5 m. При фактора дълбочина до подземните

води използваме следните оценки: 0-1 m – оценка 10; 1-1,50 m – 9; 1,50-2 m – 8; 2-2,50 m – 7; 2,50-3 m – 6; 3-3,50 m – 5; 3,50-4 m – 4; 4-4,50 m – 3; 4,50-5 m – 2, и над 5 m – 1. Източник на данни за дълбочината до подземните води са кладенците в разглеждания район, хидрогеоложки сондажи с моторна или ръчна сонда, хидрогеоложки доклади и почвени профили.

За оценката на уязвимостта от замърсяване с арсен на подземните води в заливните речни тераси факторът почви (S), използван в DRASTIC, е разделен на три показателя, които влияят върху миграцията на арсена в ландшафтите:

Окислително-редукционен потенциал (Eh) на почвата (E)

Окислително-редукционните условия (Eh) влияят на разтворимостта и следователно на миграцията на химичните елементи в околната среда, в т.ч. и на арсена. В зависимост от тези условия в природата се срещат три обстановки: окислителна, редукционно-глеева и сероводородна. Данни за Eh могат да се получат от екологични доклади и по косвени показатели – оглеени почвени хоризонти, заблацията, растителни видове.

Механичен състав на почвата (физическа глина) (S)

За оценка на уязвимостта от замърсяване с арсен на заливните речни тераси се използва показателят физическа глина, който представлява осреднена стойност на физическата глина в повърхностния и подорния хоризонт.

Активна реакция (pH) на почвата (P)

Активна реакция (pH) на почвата е важен фактор за оценка на уязвимостта от замърсяване с арсен, защото чрез този показател се характеризира разтворимостта на арсена. При по-висока разтворимост и уязвимостта от замърсяване на подземните води е по-голяма.

Източник на данни за почвената покривка са почвените карти, данни от Министерството на земеделието и храните, Институт по почвознание, агротехнологии и защита на растенията „Никола Пушкар“ – София, теренни изследвания и др.

Литоложки строеж на зоната на аерация (I)

Литоложкият строеж на зоната на аерация е важен фактор за оценка на уязвимост на подземните води от замърсяване с арсен в заливните речни тераси. Зоната на аерация е изградена от слабо пропускливи наслаги – алевролити, глини и др., при които подземните води са по-слабо уязвими от замърсяване, за разлика от пропускливите наслаги от пясъци, чакъли и др., където подземните води са силно уязвими от замърсяване. Данни за литоложкия строеж има в геоложки и хидрогеоложки карти и доклади, но по-прецизна информация може да се получи от теренни изследвания чрез изготвяне на шурфове, вертикално електрично сондиране и др.

Филтрационни свойства на водоносния хоризонт (C)

Филтрационните свойства са важен показател за оценка на уязвимостта. При висок коефициент на филтрация подземните води са по-уязвими от замърсяване.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Замърсяването на подземните води с арсен е глобален проблем и затова съществува необходимост от изучаването му. Изследванията и публикациите, свързани с него, в света са много малко. В България проблемът не е достатъчно добре проучен и оценен.

Към настоящия момент в нашата страна за оценяване и съставяне карта на уязвимостта от замърсяване на подземните води с арсен в заливните речни тераси е най-подходящо да се използват индекс методите на основата на DRASTIC. Те изискват най-малко финансови средства, данни за малък период от време за включените показатели, има достатъчно източници на информация за повечето от тях и лесно могат да бъдат визуализирани чрез географските информационни системи.

За целите, които сме си поставили – оценка на уязвимостта от замърсяване на подземните води с арсен в заливните речни тераси, съществуващите индекс методи от типа на DRASTIC не включват показатели, които отразяват миграцията на арсена в околната среда. Затова в настоящата разработка представяме модифициран вариант на DRASTIC индекса за подобен тип оценка чрез включване на допълнителни показатели: окислително-редукционен потенциал (Eh) на почвата, активна реакция (pH) на почвата и растителност.

Предложеният в тази статия модифициран индекс ще бъде предмет на друга публикация.

ЛИТЕРАТУРА

- Бърдарска, Г., И. Русев. Замърсяване с арсен на питейните води в с. Поибрене. 2009.
- Кочев, Ц., З. Чолакова, В. Младенова. Условия за замърсяване с арсен на подпочвените води в заливните тераси на р. Огоста. – Проблеми на географията, кн. 3-4, АИ „Проф. М. Дринов“, С., 2006.
- Кочев, Ц., В. Младенова, З. Чолакова, Б. Блажев. Съдържание на тежки метали и арсен в овчето и козето мляко от горното поречие на река Огоста. – География21, бр. 3, 2009, 10 – 19.
- Перелман, А. Геохимия ландшафта. Высшая школа, М., 1966.
- Петков, И., В. Петров. Оценка на уязвимостта на подземните води в района около Комбината за цветни метали, Пловдив с помощта на ГИС. 2005.
- Райкова, Б., Е. Стоева, К. Спасов. Някои методични подходи за картиране на подземните води, податливи към замърсяване, в България. – Хидрология и метеорология, 32 (1), 1983.
- Antonakos, A. K., N. J. Lambrakis. Development and testing of three hybrid methods for the assessment of aquifer vulnerability to nitrates, based on the DRASTIC model, an example from NE Korinthia, Greece. – Journal of Hydrology, 2007.
- Allen, L., T. Bennett, J. H. Lehr, R. Petty, G. Hackett. DRASTIC: a standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic settings. Oklahoma, EPA/600/2 – 85/0108, 1987.
- Aureli, A. Arsenic in Groundwater – a World problem. Utrecht, the Netherlands. – IAH, 4-32, International Association of Hydrogeologists Publication, 2006.

- Berlin, J., J. A. Mejia. Arsenic and lead pollution of the Salamanca aquifer, Mexico: origin, mobilization and restoration alternatives. *Groundwater Quality: Natural and Enhanced Restoration of Groundwater Pollution*, UK, 2001.
- Butschner, C. Beurteilung der Grundwasser – Vulnerabilität in Karstgebieten anhand 3D geologischer und numerischer Modelle. 2007.
- Drahotá, P., M. Filipi. Secondary arsenic minerals in the environment: A review. – *Environment International*, 35, 2009.
- Fazal, M., T. Kawachi, E. Ichion. Extent and Severity of Groundwater Arsenic Contamination in Bangladesh. – *Water International*, Vol. 26, Number 3, 370 – 379, 2001.
- Feng, Z., Y. Xia, D. Tian, K. Wu, M. Schmitt, R. K. Kwok, J. L. Mumford. DNA damage in buccal epithelial cells from individuals chronically exposed to arsenic via drinking water in Inner Mongolia, China. *University of North Carolina at Chapel Hill - Anticancer Res.* 21 (1A), 2001.
- Guo, Q. H., Y. X. Wang, X. B. Gao, T. Ma. A new model (DRARCH) for assessing groundwater vulnerability to arsenic contamination at basin scale: a case study in Taiyuan basin, northern China. 2007.
- Hrkál, Z. Vulnerability of groundwater to acid deposition, Jeserke Mountains, Northern Czech Republic: Construction and reliability of a GIS-Based Vulnerability Map. – *Journal of hydrogeology*, 9, 348-357, 2001
- Jain, C., I. Ali. Arsenic: occurrence, toxicity and speciation techniques. *Water research*, 2000.
- Jamil, P. M., M. N. Said, M. N. M. Reba. Assessing groundwater vulnerability to contamination using geostatistical approach. *ISG & ISPRF, Malaysia*, 1, 2011.
- Kralik, M. Strategie zum schutz der Karstwassergebiete in Österreich, Wien, 2001.
- Liggett, J. E., S. Talwar. Groundwater vulnerability assessments and integrated water resource management. – *Streamline watershed management*, vol. 13/no. 1 Bulletin Fall article 4, 2009, 18 – 29.
- Lobo-Ferreira, J. P., M. M. Oliveira. DRASTIC groundwater vulnerability mapping of Portugal. – In: *Proceedings from the 27th Congress of the International Association for Hydraulic Research*, San Francisco, USA, 1997.
- Lowe, M., M. Butler. Ground water sensitivity and vulnerability to pesticides, Heber and Round Valleys, Wasatch Country, Utah. – *Miscellaneous Publication 03-5*, Utah Geological Survey, 2003.
- Lynch, S. D., A. G., R. E. Schulze. A DRASTIC approach to ground water vulnerability in South Africa. – *South African Journal of Science*, 93 (2), 1997.
- Margat, J. Groundwater Vulnerability Maps. Conception Estimation Mapping in French-EEC Institute European de l'Eau, Paris, France, 1968.
- Melloul, M., M. Collin. A proposed index for aquifer water-quality assessment: the case of Israel's Sharon region. – *Journal of Environmental Management*, 54 (2), 2003
- Pineros, G. J. D., A. Ordonez, M. Vanclooster. Metamodelling: Theory, concepts and application to nitrate leaching modeling. – *Ecological Modelling*, 193, 2006
- Rahman, M., M. Sengupta, U. Chowdhury, D. Lodh, B. Das, S. Ahamed, M. Hossain, S. Mukherjee, S. Pati, K. Saha, D. Chakraborti. Arsenic contamination incidents around the world. – *Managing arsenic in the environment from soil to human health*, 3, 2006.
- Rodriguez, R., A. Armenta. Arsenic and lead pollution of the Salamanca aquifer, Mexico: origin, mobilization and restoration alternatives. – *Groundwater Quality: Natural and Enhanced of Groundwater Pollution*. IAHS, Publ. no 275, 2002.
- Smedley, P. Sources and distribution of arsenic in groundwater and aquifers. – *Arsenic in groundwater: a world problem*. Utrecht, the Netherlands, IAH, 4-32, 2008.

- Thapinta, A., P. F. Hudak. Use of geographic information systems for assessing groundwater pollution potential by pesticides in Central Thailand. – Environment International, 29 (1), 2003.
- Tuinhof, A., J. P. Heederik, M. van der Valk, T. Olsthoorn. Arsenic in groundwater – a world problem., Utrecht, the Netherlands, – IAH, 4-32. International Association of Hydrogeologists Publication., 2006.
- Vlăicu, M. Karst groundwater vulnerability assessment methods. 2006. <http://www.speotravaux.iser.ro/08/art06.pdf>, 20. 02. 2012.
- Vrba, J., A. Zaporozec. Guidebook on mapping groundwater vulnerability. International association of hydrogeologists. – International Contributions to hydrogeology, 16, 1994
- Yang, Q., M. T. Lu. Application of DRASTIC index to assessment of groundwater vulnerability to pollution in Dalian city. – Journal of Dalian University of Technology 39 (5), 1999.

Департамент География при НИГГ – БАН
velimira_asenova@abv.bg

APPLICABILITY OF THE DRASTIC TYPE INDEX-METHODS FOR VULNERABILITY ASSESSMENT OF GROUNDWATER ARSENIC CONTAMINATION

V. Stoyanova

(S u m m a r y)

The article provides an overview of the existing methods for assessing the vulnerability of groundwater contamination, and also of the selection of indicators for assessing the vulnerability of arsenic contamination of groundwater in floodplains.

The concept of vulnerability of groundwater was established in the late 1960s and was widely used in the 1980s and the 1990s. The first definition of Margat

(1968) states that vulnerability is: “the degree of protection that the environment provides against the spread of pollution in groundwater”. The definition has been amended through the years, but to the present day there is still no standard definition. It is our opinion that the term “vulnerability of groundwater”, should stand for *the ability of chemicals - product of human activity - to reach the water level, remain in solution and go beyond the statutory threshold limit values (TLV) in groundwater.*

Different methods for assessing the vulnerability of groundwater exist: index, numerical, simulation and hybrid.

In assessing the vulnerability to a particular pollutant, it is appropriate to use methods designed specifically for that pollutant. In many cases it is impossible to establish a single criterion for the various pollutants because some of the factors favor the migration of some contaminants and prevent the spread of others.

Choosing the most appropriate method to be used for mapping the vulnerability of groundwater in a given area, depends on data availability, as well as on the geomorphological and the hydrogeological characteristics of the area.

In order to assess the vulnerability of groundwater to arsenic contamination in river floodplain terraces, we offer a modification of the DRASTIC index-method, which modification would reflect the features of arsenic migration in landscapes, as well as the geomorphological and the hydrogeological characteristics of the floodplains.

The modified index includes six factors, which are characterized, similar to the DRASTIC, by specific gravity ranging from 1 to 5 (Table 10): *depth of groundwater, groundwater recharge, oxidation / reduction potential (Eh) of the soil, mechanical composition of the soil (physical clay), active soil reaction (pH), lithological structure of the aeration zone and filtration properties of the aquifer.*