

БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ
НАЦИОНАЛЕН ИНСТИТУТ ПО ГЕОФИЗИКА,
ГЕОДЕЗИЯ И ГЕОГРАФИЯ



ДЕПАРТАМЕНТ ГЕОГРАФИЯ
СЕКЦИЯ „ФИЗИЧЕСКА ГЕОГРАФИЯ“

Велимира Асенова Стоянова

**УЯЗВИМОСТ НА ГРУНТОВИТЕ ВОДИ ОТ ЗАМЪРСЯВАНЕ С
АРСЕН В ЗАЛИВНАТА ТЕРАСА НА РЕКА ОГОСТА МЕЖДУ
СЕЛО МАТИНОВО И ЯЗОВИР „ОГОСТА“**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

на

Д И С Е Р Т А Ц И Я

за придобиване на образователна и научна степен „доктор“

ПРОФЕСИОНАЛНО НАПРАВЛЕНИЕ

4.4. „НАУКИ ЗА ЗЕМЯТА“

НАУЧНА СПЕЦИАЛНОСТ 01.08.01. „ФИЗИЧЕСКА ГЕОГРАФИЯ
И ЛАНДШАФТОЗНАНИЕ“

Научен ръководител: доц. д-р Цветан Коцев

Научен консултант: проф. д-р Мартин Банов

СОФИЯ, 2015

Дисертацията е обсъдена и насочена за защита от разширен семинар на департамент „География“ на НИГГГ-БАН, проведен на 5. 10. 2015 г.

Дисертацията съдържа 196 страници, включва 35 таблици, 77 фигури (в т.ч. 45 цифрови карти, 27 графики и теренни снимки), 12 страници литература и 1 Приложение. Номерацията на таблиците и фигурите от дисертацията е запазена в настоящия автореферат. Библиографията включва 158 заглавия на научни публикации на български и чужди автори.

Дисертантът е редовен докторант в Национален институт по геофизика, геодезия и география – БАН, департамент „География“, секция „Физическа география“, където е разработен дисертационния труд.

Публичната защита ще се състои на _____ от _____ в зала 101 на блок 3 на НИГГГ-БАН.

Материалите по защитата са на разположение на интересувашите се в стая 105 на НИГГГ-БАН, ул. „Акад. Г. Бончев“, бл. 3 и в интернет н адрес: <http://www.niggg.bas.bg>

Благодарности

Благодаря на първо място на моя научен ръководител - доц. д-р Цветан Коцев за съветите, консултациите и подкрепата при разработването и оформянето на настоящия дисертационен труд.

Дължа специална благодарност на гл. ас. д-р Емилия Черкезова за съветите и споделяния опит. Също така благодаря на проф. д-р Алексей Бендерев, проф. д-р Мартин Банов, доц. д-р Мариан Върбанов и Тодор Любенов за ценните съвети и методическа помощ при съставянето на този труд.

Разработването на дисертационния труд е осъществено в рамките на проекта ASCOR Arsenic contamination of Ogosta river: Linking biogeochemical processes in floodplain soils with river system dynamics с номер IZEBZO-142978 от Българо-швейцарската програма "Изследвания" 2011-2016 г. ASCOR е съвместен проект между Държавния технологичен университет в Цюрих (Швейцария) и Национален институт по геофизика, геодезия и география – БАН. Ръководители на проекта са проф. д-р Рубен Кречмар (Ruben Kretzschmar) (Държавен технологичен университет в Цюрих-Швейцария) и доц. д-р Цветан Коцев (Национален институт по геофизика, геодезия и география – БАН, департамент География, секция Физическа география). Съдържанието на тежките метали и маталоиди (арсен) в почвите е определено с помощта на рентгенофлуоресцентен (XRF), а във водите с помощта на ICP-OES и ICP-MS анализ в Института по биогеохимия и динамика на замърсителите към Държавния технологичен университет в Цюрих (Швейцария) от Курт Барметлер (Kurt Barmettler).

Авторът изказва благодарност към целия колектив на проекта, както и на всички колеги от Департамент География към Национален институт по геофизика, геодезия и география, които помогнаха при изследването и оформянето на дисертацията.

А. ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Дисертационната разработка съдържа четири глави, заключение, списък с цитираната литература, списък на таблиците и фигурите. Въведението, глава 1 и 3 представят целите, задачите, методите, теоретичната постановка, проблемите в изследването на уязвимостта на подземните води по света и у нас, природната характеристика и антропогенните източници на замърсяване на заливната тераса на р. Огоста между с. Мариново и яз. „Огоста“. В Глави 2 и 4 е представена модификацията на индекс метода DRASTIC и неговото приложение за оценка на уязвимостта от замърсяване на грунтовете води в заливната тераса на р. Огоста между с. Мариново и яз. „Огоста“.

Във Въведението се разглежда актуалността на изследването, обекта и предмета на изследването. Дефинирана е целта, поставените задачи за постигането ѝ, направен е кратък преглед на проблема за уязвимостта от замърсяване на подземните води и са представени изследванията по разглеждания проблем в страната и водосбора на р. Огоста

През последния и настоящия век проблемите с химичното замърсяване на подземните води в заливните речни тераси включително и с арсен са много актуални. Арсенът е високо токсичен елемент. 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, черния дроб (разширяване на черния дроб и цироза), пикочния мехур, лимфом (тумор в лимфните възли) и др. (Aureli, 2006). Концепцията за уязвимост на подземните води от замърсяване е създадена в края на 60-те години но се прилага широко след 80-те години на XX в. За тази цел са разработени различни методи. Те са разгледани в Глава 1 на настоящата дисертация. В България проблемът за уязвимостта от химично замърсяване на подземните води е разглеждан за различни райони на страната от Райкова и др. (1983), Бендеров и др. (1992), Петков и др. (2005), Петров (2006), Михайлова (2009), Orehova et al. (2009), Бендеров и др. (2013; 2014) и др. Поречието на р. Огоста във връзка с уязвимостта на подземните води от замърсяване е изследвано през 2009 г. от Орехова, Гергинов и Каримова. Те правят кратък преглед на изучеността на проблема в световен мащаб и в България, кратка характеристика на географското положение, хидрогеоложките фактори и на антропогенното въздействие в разглеждания район. В изследването оценката за уязвимост на подземните води е

представена чрез PI метода, който е най-подходящ според тях за оценка на присъщата уязвимост за карстовите терени. Уязвимостта на подземните води е представена в три категории – ниска, средна и висока. В проведеното изследване не е представен и изяснен проблемът за специфичната уязвимост на подземните води от замърсяване с арсен в заливната тераса на р. Огоста. Изследваният район е слабо изучен по отношение на замърсяването на подземните води с тежки метали и арсен. Единични са изследванията и публикациите за замърсяването им (Коцев и др., 2006). Липсват и изследвания за оценка на специфичната уязвимост от замърсяване с арсен на подземните (грунтови) води в заливната тераса на р. Огоста. В долината на р. Огоста, с досега извършените проучвания (Спектротех, 1994; Коцев, 2003) е доказано замърсяване с арсен на почвите на големи площи. Всичко това налага изследването и оценката на най-замърсените и уязвими части от заливната речна тераса за постъпването на арсен до нивото на подземните води.

В настоящия дисертационен труд **обект** на изследване са грунтовите води в заливната тераса на р. Огоста от изворните ѝ части в Чипровска планина до устието ѝ в яз. „Огоста“, а **предмет** се явява уязвимостта им от замърсяване с арсен.

Във връзка с обекта и предмета на изследване **целта** на дисертационния труд е извършване на оценка на уязвимостта от замърсяване с арсен на подземните (грунтови) води в заливната тераса на р. Огоста.

За постигането на поставената цел, следва да се решат следните научни **задачи**:

1. Модифициране на съществуващ индекс метод за оценка на уязвимостта на грунтовите води, с цел приложението му за оценка на специфичната уязвимост от замърсяване на подземните води с арсен в заливни речни тераси;

2. Пространствена оценка на влиянието на избраните показатели върху уязвимостта на грунтовите води от замърсяване с арсен в изследвания район и изготвяне на съответните карти;

3. Съставяне на карта на уязвимостта на подземните води от замърсяване с арсен в заливната тераса на р. Огоста;

4. Верификация на получената пространствена оценка на уязвимостта на подземните води;

5. Пространствена характеристика и райониране на изследваната територия по степен на уязвимост от замърсяване с арсен на подземните води.

Б. СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

В **Глава 1 „Методи, информационна осигуреност и теоретична постановка на изследването“** се разглеждат методите на изследването. В настоящата дисертация са използвани:

Полеви теренни изследвания при теренните работи са взети почвени и водни проби, изградени са 7 бр. – сондажни кладенци; 17 бр. – тръбни кладенци и 35 бр. – почвени профили, в 33 пункта за изследване на геоложкия разрез в дълбочина е използван метода на вертикалното електрично сондиране (BEC), описани са почвените пластове на всички профили, определяно е нивото на подземните води, на водните проби са измерени комплекс от физико-химични показатели (pH, EC, T°C, TDS, NaCl, Res и др.) с мултиметър модел Eijkelkamp18.50.01, измерена е магнитната възприемчивост на почвата с полеви уред – капаметър KT5 (чувствителност 1×10^{-5} SI), картирани са геоморфоложките елементи на заливната речна тераса и др. **Лабораторни методи** са използвани при определяне на химичния състав на почвата и водата, активна реакция (pH) и механичния състав на почвата. Съдържанието на тежките метали и маталоиди (арсен) в почвите е определено с помощта на рентгенофлуоресцентен (XRF), а във водите с помощта на ICP-OES и ICP-MS анализ в Института по биогеохимия и динамика на замърсителите към Държавния технологичен университет в Цюрих (Швейцария). **Метод на баловата оценка** е приложен при определяне на оценките на показателите използвани в модифицирания индекс за оценка на уязвимостта на подземните води от замърсяване с арсен; **Балансовият метод** е използван при показателя подхранване на подземните води. Той се изчислява на базата на воднобалансовото уравнение като разлика между приходните (валежи – P mm) и разходни балансови елементи (E – евапотранспирация, mm; R_s – повърхностен отток, mm): $R_u = P - E - R_s$; **Методи за обработка и анализ на данните** - **Географски информационни системи (ГИС)** за съставянето на общогеографските и тематични карти е използван софтуерът - ArcGIS 10.2.2 и ArcGIS 10.3.1. В настоящия дисертационен труд са използвани следните инструменти (Arc Toolbox): Analysis Tools (анализ на данни), Cartography Tools (картографиране на данни), Conversion Tools (конвертиране на данни), Data Management Tools (управление на данни), Spatial Analyst Tools (пространствен анализ). За изготвянето на настоящия дисертационен труд са използвани посочените по-долу **източници на информация: топографски карти** в мащаб 1:5000 от Агенцията по геодезия, картография и кадастър; Данните за дълбочината до грунтовите води са от тръбните и сондажни кладенци

изградени по проекта ASCOR. Използван е и *цифров модел на релефа (ЦМР)* генериран от гл. ас. д-р Емилия Черкезова на базата на въздушното лазерно сканиране (LIDAR) с пространствена разделителна способност 1x1 m (размер на пиксел) на долинното дъно (речно легло и заливна речна тераса) в горното поречие на р. Огоста. Въздушното лазерно сканиране е извършено от Airborne Technology GmbH, Австрия, през март и юни 2013 г. по проекта ASCOR. За участъците извън долината на р. Огоста е използван цифров модел на релефа (ЦМР) от Министерството на земеделието и храните с пространствена разделителна способност 8x8 m (размер на пиксел). Източник на данни за почвената покривка са почвените карти в електронен вариант от Министерството на земеделието и храните и почвените доклади на хартиен носител от Институт по почвознание, агротехнологии и защита на растенията „Никола Пушкиarov“ и теренните изследвания проведени през ноември 2013 г.; юли, август и септември 2014 г. За разработването на дисертационния труд са използвани и архивни фондове и доклади от Държавна агенция „Архиви“ – дирекция Централен държавен архив и Национален геофонд, интернет сайтове, резултати от лични наблюдения и др.

В тази глава подробно е разгледана европейската и национална нормативна база в областта на подземните води, същността на понятието уязвимост на подземните води, индекс метода DRASTIC, методите за оценка на уязвимостта от замърсяване на подземните води и особеностите на миграция и съдържанията на арсен в почвите и водите. В България към Закона за водите са изготвени и приети редица подзаконови нормативни документи - наредби, заповеди, правилници и др. По-долу е представена частта от тях свързана с подземните води: *Наредба № 1 от 10. 10. 2007 г.* (ДВ. бр. 87 от 30 октомври 2007 г.) за проучването, ползването и опазването на подземните води; *Наредба № 2 от 13. 09. 2007 г.* (ДВ., бр. 27 от 11. 03. 2008 г.) за опазване на водите от замърсяване с нитрати от земеделски източници; *Наредба № 18 от 27. 05. 2009 г.* (ДВ, бр. 43 от 9. 06. 2009 г.) за качеството на водите за напояване на земеделските култури; *Наредба № 1 от 11. 04. 2011 г.* (ДВ., бр. 34 от 29. 04. 2011 г.) за мониторинг на водите.

Във връзка с разработването на темата най-голямо внимание е отделено на същността на понятието уязвимост от замърсяване на подземните води и на индекс метода DRASTIC. 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

общоприето определение. В многообразието от дефиниции главен акцент се поставя върху възможността замърсени вещества от повърхността да достигнат до нивото на подземните води. Според Vrba и Zaporozec (1994) уязвимостта от замърсяване на подземните води представя териториалните различия в условията за замърсяване на подземните води от постъпващи външни замърсители, а според Jamil (2011) – „тенденцията и вероятността, замърсители да достигнат подземните води от повърхността”. Под уязвимост (потенциал на замърсяване) на подземните води *ние разбираме възможността химични вещества, продукт от антропогенната дейност или с естествен характер, да проникнат (инфилтрират) от повърхността до нивото на подземните води, да останат в разтворено състояние и да надхвърлят установеният стандарт за качество на подземните води.* В зависимост от това дали се вземат в предвид само свойствата на средата или и на замърсителя, уязвимостта на подземните води от замърсяване може да бъде определена като: присъща (естествена или собствена) и специфична. За оценка уязвимостта на подземните води са разработени различни методи: индекс методи – DRASTIC (САЩ), GLA (Германия), PI (Германия), SINTACS (Италия), EPIK (Швейцария), GSI (Ирландия), REKS (Словакия), ZEIT – INPUT (Австрия) и др.; статистически методи – корелационен анализ, регресионен анализ, интерполации; симулационни методи – триизмерни модели (Liggett et al., 2009). Според Antonakos et al. (2007) съществуват и хибридни методи, които включват комбинация от индекс, статистически и симулационните методи. В настоящата дисертационна разработка е разгледан подробно само базисния метод **DRASTIC**. Той е разработен през 80-те год. на XX в. от Агенцията по околна среда на САЩ с цел подпомагане на дейността на проектанти, мениджъри, администратори и индустриалци за определяне на най-уязвимите територии от замърсяване на подземните води от външни замърсители със съществуващата информация за всички щати, както на безнапорни, така и за напорни водоносни хоризонти (Aller et al., 1987). Той се отнася към т. нар. PCSM (point count system models), или методи, отчитащи тежестта на параметрите и тяхната значимост, добили особено значение след навлизането на ГИС (Бендерев и др., 2014). В DRASTIC се използват данни за седем показателя за определяне потенциала на замърсяване на подземните води: 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 и хидравлична проводимост на водоносния хоризонт – C (табл. 15). Методът сега се прилага освен в САЩ и в много други страни: Израел (Melloul et al., 2003; Almasri et al., 2006; Almasri, 2008), Португалия (Lobo – Ferreira et al., 1997; Afonso et al., 2008), ЮАР (Lynch, 1997), Китай (Yang et al., 1999), Южна Корея (Kim et al., 2002) и др. Редица автори са модифицирали DRASTIC за оценка на присъщата уязвимост в конкретни райони. Witkowski et al. (2002) за карстови територии в южната част на Полша; Secunda et al. (1998) оценяват уязвимостта на подземните води в областта Рамат ХаШарон в Израел и др. В Китай екип от учени създават модификация на DRASTIC за оценка на уязвимостта на подземните води от замърсяване с арсен и го наименоуват DRARCH (Guo et al., 2007). В DRARCH отпадат някои от показателите на DRASTIC и се добавят нови, които отразяват способността на миграция на арсена в геоложките хоризонти. Той включва следните показатели: дълбочина до нивото на подземните води - D; подхранване на подземните води - R; литоложки строеж на водоносния хоризонт - A; относителен дял на глинестите пластовете спрямо общата дебелина (мощност) на зоната на аерация - R; филтрационни свойства на водоносния хоризонт – C; коефициент на абсорбция на замърсителите на седиментите в зоната на аерация - H.

В Глава 2 „Модификация на индекс метод за оценка на уязвимостта на подземните води от замърсяване с арсен в заливни речни тераси“ е разгледана модификацията на DRASTIC индекса, за оценка на уязвимостта на подземните води от замърсяване с арсен в заливните речни тераси. Модифицираният индекс е наречен **DRESPI** и подобно на DRASTIC е съкращение от първите букви на оценъчните фактори (**D** – Depth, **R** – Recharge, **E** – Eh, **S** – Soil, **P** – pH, **I** – Impact). В DRESPI отпадат някои от показателите на DRASTIC (литоложки строеж на водоносния хоризонт, филтрационни свойства на водоносния хоризонт и наклон на терена. Те не са включени в DRESPI поради недостиг на информация или поради слабото им пространствено изменение в границите на заливните речни тераси. Тези показатели са подходящи за оценка на уязвимостта от замърсяване на подземните води в регионален мащаб (за целия водосбор и др.). Друга част от показателите на DRASTIC са изменени (механичен състав на почвата и въздействие на дебелината на алувиалните отложения (алувиални почви) и към тях са добавени нови (признаци за редукция на желязото в почвата от трета във втора валентност и активна реакция на почвата), които отразяват способността на

миграция на арсена в ландшафта. Всеки показател, както и в DRASTIC се характеризира със следните елементи: тежест (W), интервали (класификации) и оценка (рейтинг) на интервалите (R). Тежест (W), за да се определи относителната важност на всеки отделен показател в DRESPI, подобно на DRASTIC, той се съпоставя с останалите. Показателят с най-висока степен на влияние върху потенциала на замърсяване на подземните води е с тежест 5, а с най-малка - 2. Стойностите на тежестите на запазените или частично изменени показатели от DRASTIC не са променени (табл. 15). Показателят признаци за редукция на желязото в почвата е с тежест – 4, а активната реакция (pH) е с тежест 3. Причината за това, е че при една и съща стойност на активната реакция на средата подвижността на арсена се променя съществено в зависимост от окислително-редукционните условия. От своя страна алкално-киселинните условия оказват влияние върху степента на адсорбция на арсена от железните оксиди и хидроксиди, особено на петвалентните му форми и затова неговата тежест е определена като средно значима.

Таблица 15

Показатели за оценка на уязвимостта от замърсяване на подземните води в DRASTIC (по Aller et al., 1987) и DRESPI

DRASTIC			DRESPI		
Показател		Тежест - W	Показател		Тежест- W
D	Дълбочина до нивото на подземните води	5	D	Дълбочина до подземните (грунтови) води	5
R	Подхранване на подземните води	4	R	Подхранване на подземните води	4
A	Литоложки строеж на водоносния хоризонт	3	-	-	-
-	-	-	E	Признаци за оглеяване на почвата	4
S	Почвена покривка	2	S	Механичен състав на	2

				почвата (физическа глина %)	
			P	Активна реакция (pH) на почвата	3
T	Наклон на терена (склон)	1		-	-
I	Въздействие на зоната на аерация	5	I	Дебелината на почвената покривка	5
C	Филтрационни свойства на водоносния хоризонт	3			

Интервали (класификации) и оценка (R) - всеки показател в DRESPI подобно на DRASTIC е разделен на отделни интервали, които отразяват различната им степен на влияние върху уязвимостта на подземните води. Всеки интервал е оценен спрямо останалите, като е определена неговата значимост по отношение на потенциала на замърсяване спрямо съответния показател. На всеки интервал от даден показател е присвоена оценка (R), варираща между 1 и 10. Интервалите и присвояващата им стойност са съобразени с всеобщо известни природни закономерности и закони, наличната информация, с интервали използвани в DRASTIC и с основни принципи при построяване на балови скали (скалата започва отдолу с най-слабо изразените процеси; скалата започва с 1, не са пропускани числа, с изключение на скалата за показателя признаци за оглеяване на почвата; интервалите са с равна по съдържание информативност с изключение на показателя механичен състав на почвата и са определени чрез теренни изследвания, прочит и анализ на литература по разглежданият проблем. Показателите на индекс метода DRESPI се разглеждат в две групи: първата група характеризира хидрогеоложките условия на залягане на подземните (грунтови) води в заливните речни тераси и втора група показатели, която отразява миграцията на арсена в ландшафта.

Показатели характеризиращи *хидрогеоложките условия на залягане* на подземните води в заливната речни тераси: **Дълбочина до подземните (грунтови) води (D)** - в таблица 17 е представена класификацията на дълбочината до подземните води. За целите на настоящото изследване е предложена нова балова скала с 10

интервала съобразена с дълбочината на подземните води в заливните речни тераси. С цел по-добра диференциация в рамките на заливната тераса, диапазонът между отделните класове е през 50 см. При построяване на баловата скала е спазен принципа, че при увеличаване на дълбочината се намалява уязвимостта от замърсяване.

Таблица 17

Класификация и оценка на дълбочина на подземните (грунтови) води в DRASTIC (по Aller et al., 1987) и DRESPI

DRASTIC			DRESPI	
Дълбочина до нивото на подземните (грунтови) води (f - фута)	Дълбочина на подземните (грунтови) води (m - метри)	Оценка - R	Дълбочина на подземните (грунтови) води (m - метри)	Оценка - R
>100	>30,5	1	>5	1
75-100	22,9-30,5	2	4-5	2
50-75	15,2-22,9	3	4-3,5	3
30-50	9,1-15,2	5	3,5-3	4
15-30	4,6-9,1	7	3-2,5	5
5-15	1,5-4,6	9	2,5-2	6
0-5	0-1,5	10	2-1,5	7
			1,5-1,0	8
			1,0-0,5	9
			0,5-0	10

Подхранване на подземните води (R) е изчислено като разлика между основния приходен елемент падналите атмосферни валежи (P, mm) върху земната повърхност и основния разходен елемент във водния баланс на територията на България сумарното изпарение (евапотранспирация - E, mm): $R = P - E$. При изчисляването на подхранването на подземните води не е отчетен повърхностният отток. Той е минимален поради малките наклони на заливните тераси и значителната еднородност на условията. В изчисляването на средногодишната стойност на подхранването на подземните води не са включени и следните приходни елементи: количество влага постъпило за сметка на кондензация; инфилтрирали речни води; приток на вода от вододелните участъци; води на съседни водоносни пластове. Тези източници на подхранване са игнорирани, тъй като имат по-малко значение за придвижването на замърсителя в дълбочина. Не са взети под внимание и водите от напояването, изкуственото подхранване и разливите на отпадни води поради липсата на данни. В таблица 18 е представена класификацията на подхранване на подземните води в DRESPI.

Класификацията е с десет класа, като долната и горната граница са съобразени с изчислените стойности на показателя за България. При оценяване на интервалите е спазен принципа, че колкото е по-голяма величината на подхранване, толкова по-голям е и потенциалът за замърсяване на подземните води.

Таблица 18

Класификация и оценка на подхранването на подземните (грунтови) води в DRASTIC (по Aller et al., 1987) и DRESPI

DRASTIC			DRESPI	
Подхранване на подземните води (инчове) (по Aller et al., 1987)	Подхранване на подземните води (mm)	Оценка - R	Подхранване на подземните води (mm/y)(mm/г)	Оценка - R
0-2	0-50,8	1	0-50	1
2-4	50,8-101,6	3	51-100	2
4-7	101,6-177,8	6	101-150	3
7-10	177,8-254	8	151-200	4
10+	254+	9	201-250	5
			251-300	6
			301-350	7
			351-400	8
			401-450	9
			>451	10

Дебелина (мощност) на почвената покривка (I) - в модифицирания индекс DRESPI не се разглежда видът на изграждащата геоложка среда на зоната на аерация, а дебелината на почвената покривка. В DRESPI баловата скала е с десет интервала съобразени с по-горе посочените особености за дебелината на почвите. Затова диапазона между 0 cm и 180 cm е разделен на 9 интервала през 20 cm, за по-добра диференциация в рамките на заливната речна тераса. При оценяването на интервалите е спазен принципа, че при по-голямата му дебелина и потенциала на замърсяване на подземните води намалява (табл. 19).

Таблица 19

Класификация и оценка на въздействието на зоната на аерация DRASTIC (по Aller et al., 1987) и мощност (дебелина) на почвената покривка в DRESPI

DRASTIC			DRESPI	
Литоложки строеж	Оценка - R	Типична оценка - R	Мощност (дебелина) на почвената покривка (cm)	Оценка - R
Напорен пласт (горен)	1	1	>181	1

водуопор)				
Алевролит/глина	2-6	3	180-161	2
Шисти	2-5	3	160-141	3
Метаморфни или магмени скали	2-8	4	140-121	4
Пясъчник	4-8	6	120-101	5
Нespoени варовици, пясъчници и шисти	4-8	6	100-81	6
Пясък и чакъл с глина	4-8	6	80-61	7
Варовик	2-7	6	60-41	8
Пясък и чакъл	6-9	8	40-21	9
Базалт	2-10	9	20-0	10
Окарстен варовик	8-10	10		

Механичен състав на почвата (физическа глина - %) (S) –

В DRESPI механичният състав се оценява спрямо хоризонта с най-високо съдържание на физическа глина в почвения профил. Хоризонта с най-високо съдържание на физическа глина се характеризира с най-висока водонепропускливост. Той играе ролята на геохимична бариера, защото в него се извършва намаляване на придвижването на арсена в дълбочина. Колкото по-високо е съдържанието на физическа глина в този хоризонт, толкова е по-малка и уязвимостта за замърсяване на подземните води. Баловата скала е с девет интервала. Съдържанието на интервалите е неравномерно разпределено, защото е използвана класификацията на механичния състав на почвите по Качински (табл. 20). С най-ниска уязвимост, оценена с 1 са подземните води при почви, в които има почвен хоризонт със съдържание на физическа глина над 85 %, а най-висока е уязвимостта с оценка 9 при почви с почвени хоризонти със съдържание на физическа глина под 5 %.

Таблица 20

Класификация и оценка на механичен състав на почвата (физическа глина) в DRASTIC (по Aller et al., 1987) и DRESPI

DRASTIC			DRESPI		
Класификация	Оценка - R	Глина (частици под 0,002 mm)	Класификация (по Качински)	Количество на глина (частици под 0,01 mm)	Оценка - R
Несвиваща се глина	1		Тежко глинеста	>85 %	1
Аморфен торф	2		Средно глинеста	75-85 %	2
Глинеста почва	3	27-40%	Леко глинеста	60-75 %	3
Алевритова почва	4	12-27%	Тежко пясъчливо-	45-60 %	4

			глинеста		
Алеврито - глинеста почва	5	7-27%	Средно песъчливо- глинеста	30-45 %	5
Глинесто - песъчлива почва	6	0-20%	Леко песъчливо- глинеста	20-30 %	6
Смиваща и/или агрегатна глина	7		Глинесто- песъчлива	10-20 %	7
Торф	8		Свързан пясък	5-10 %	8
Пясък	9		Рохкав пясък	<5 %	9
Тънък или липсващ слой	10				
Гравий	10				

Показатели характеризиращи миграцията на арсена

Признаци за оглеяване на почвата (Е) - класификацията и оценката по този показател в DRESPI е представена в таблица 21. При липса на признаци за оглеяване по целия почвен профил (тъмнокафяв цвят) показателят се оценява с 1, при периодична смяна на глеева с окислителна обстановка (охрено-ръждиви петна и др.) в някои от пластове с 5, а при глеева обстановка (зеленикав и тъмносив-синкав цвят) с 10. С така зададените оценки се цели постигане на по-добра диференциация на уязвимостта по този показател.

Таблица 21

Оценка на признаците за оглеяване на почвата (цвят на почвата) в DRASTIC и DRESPI

DRASTIC		DRESPI			
Класификация	Оценка -R	Класификация			Оценка - R
-	-	Окислителни условия	тъмнокафяв	(Munsell 5YR)	1
		Редуване на редукционни с окислителни условия	Охрено ръждиви нюанси в цели пластове или в отделни зони и петна		5
-	-	Редукционни условия	зеленикав или тъмносиво-синкав	(Munsell 2,5Y, 5Y, 5G, 5B)	10

В таблица 22 е представена класификацията по този показател при точно измерени стойности. Границата между окислителните и редукционните условия е съобразена с тази на желязото +0,2 V (Хаджиянакиев, 1989).

Таблица 22

Класификация и оценка на окислително-редукционните потенциал на почвата в DRASTIC и DRESPI

DRASTIC		DRESPI		
Класификация	Оценка	Класификация V	Оценка	
-	-	+1,0	1	окисление
-	-	+0,8	2	окисление
-	-	+0,6	3	окисление
-	-	+0,4	4	окисление
-	-	+0,2	5	редукция
-	-	0,0	6	редукция
-	-	-0,2	7	редукция
-	-	-0,4	8	редукция
-	-	-0,6	9	редукция
-	-	>-0,8	10	редукция

Активна реакция (pH) на почвата (P) - в таблица 24 е представена класификацията на активната реакция на почвата в DRESPI според класификацията на USDA. Класификацията в DRESPI е със седем класа, като долната и горната граница са съобразени с най-типичната активна реакция на почвите на заливните речни тераси. Най-разпространени са алувиалните (наносни) почви с pH от 6,1–6,9 до pH - 7,6–8,1 (Георгиев, 2005, 52 с.). При наличието на сулфати те се характеризират с pH около 4,5, а при карбонати с pH от 7,6–8,1 до 8,7–8,9. Представени са две класификации едната за AsV, а другата за AsIII, защото те се сорбират при противоположни стойности на pH.

Таблица 24

Класификация и оценка на активна реакция на почвата в DRASTIC и DRESPI

DRASTIC		DRESPI		
Класификация	Оценка - R	Активна реакция на почвата (pH)	Оценка – R за арсенатите AsV	Оценка – R за арсенитите AsIII
	-	<5,5	1	7
	-	5,6-6,0	2	6

		6,1-6,5	3	5
		6,6-7,3	4	4
		7,4-7,8	5	3
		7,9-8,4	6	2
		>8,4	7	1

Изчисляване на уязвимостта - чрез DRESPI подобно на DRASTIC се дава краен числен резултат, който представлява относителна мярка за уязвимостта на дадена област. Колкото по-голям е сумарният резултат, толкова по-голяма е уязвимостта от замърсяване (табл. 25).

DRESPI индексът се изчислява по следната формула:

$D_i = D_R D_W + R_R R_W + E_R E_W + S_R S_W + P_R P_W + I_R I_W$, където:

D_i – DRESPI индекс (потенциално замърсяване, уязвимост), R – рейтинг (оценка), W – тежест на показателя. DRESPI индексът варира от 23 до 219.

Таблица 25

Класове уязвимост от замърсяване на подземните води

DRASTIC (по Aller et al., 1987) Национален цветен код за DRASTIC индекс		DRESPI			
Бал	Цвят	Бал	Цвят	RGB	Уязвимост
<79	Виолетов	<79	Тъмно зелен	38/118/0	Естествено защитени
80-99	Тъмносин	80-99	Зелен	10/204/0	Много слабо уязвими
100-119	Син	100-119	Светло зелен	170/255/0	Слабо уязвими
120-139	Тъмнозелен	120-159	Жълт	255/255/0	Средно уязвими
140-159	Светлозелен				
160-179	Жълт	160-179	Оранжев	255/209/15	Силно уязвими
180-199	Оранжев	180-199	Червен	255/176/20	Много силно уязвими
>200	Червен	>200	Виолетов	194/0/187	Екстремно уязвими

Картографиране на уязвимостта - Оценяването на уязвимостта на подземните води чрез DRESPI, както и в DRASTIC, включва не само даването на числов резултат, но и изчертаването на карти за всеки показател поотделно и на карта за уязвимостта. Картата на уязвимостта на подземните води от замърсяване с арсен се съставя чрез сумиране на растерните слоеве за всички показатели.

В Глава 3 „Природна характеристика и антропогенни източници на замърсяване на заливната тераса на р. Огоста между с. Мартиново и яз. „Огоста“

се разглежда районът на изследване, представена е природната му характеристика (геология, релеф, климат, повърхностни води, подземни води и почви), основните източници на антропогенно замърсяване (добив и обогатяване на оловно-сребърни, желязна и златосъдържаща руда). Разгледана е концентрацията на арсен в речните води и почвите.

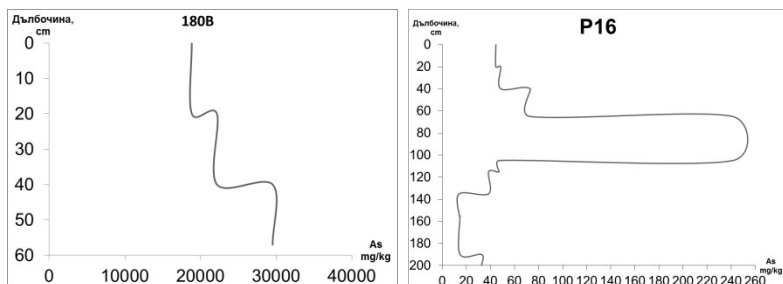
Районът на изследване на настоящата дисертация обхваща заливната речна тераса на р. Огоста в горното ѝ течение от с. Мартиново до яз. „Огоста“ на протежение от 35 km и с обща площ 15 km². Изследваният участък от речната долина се намира в Северозападна България в обхвата на Западна Стара планина и Предбалкана и надморската му височина се изменя от 802 m при с. Мартиново до 180 m при вливането на реката в едноименния язовир (фиг. 10). Районът на изследване попада изцяло в административните граници на област Монтана и включва части от териториите на общините на гр. Чипровци, с. Георги Дамяново и Монтана.

Характеристиката на заливната тераса на изследваната територия в настоящата дисертация е направена на базата на генерализиран вариант от автора на настоящата дисертационна разработка на класификацията на Черкезова (2015) за *геоморфографските единици на заливната тераса на р. Огоста*, разработена в рамките на проектът ASCOR (2012-2015). Според генерализирания вариант заливната речна тераса се разделя на: прирусови заливаеми участъци и негативни микроформи с височина до 1 m; активна заливна речна тераса (T0) 1-3,5 m; заливна речна тераса (Th) 3,5 - 5 m и заливна речна тераса (Th) 5 m - 6,5 m (фиг. 17).

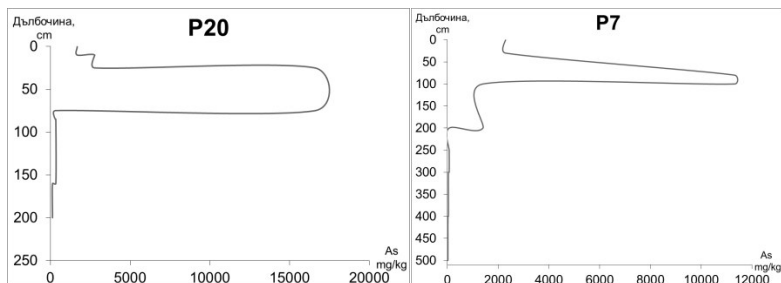
Подземни води в изучавания район се разкриват следените водоносни хоризонти: алувиален, делувиялен, неогенски, креден, горноюрски-долнокреден карстов, триаски карстов и долготриас-палеозойски (Бендерев, 2013). За целите на настоящото изследване разглеждаме само алувиалния водоносен хоризонт на р. Огоста, в който се формират ненапорните (грунтови) води. Грунтовите води акумулирани в заливната тераса на р. Огоста са на дълбочина между 0,50 и 3,00 m (Доклад за резултатите от проведени детайлни....., 1962; сондажни кладенци по проекта ASCOR). В границите на районът, алувиалният водоносен хоризонт има непрекъснато разпространение от опашката на яз. Огоста до с. Бели Мел. В долината на р. Чипровска този хоризонт се разкрива само в отделни участъци (Бендерев, 2013).

Антропогенни източници на замърсяване на почвите и водите с арсен в горното поречие на р. Огоста. В дълъг период от

време от древността до 1999, районът на изследване е подложен на усилен антропогенизация (добив и обогатяване на руди), за което свидетелстват редица историко – географски и статистически материали (Милев и др., 1996; Годишен доклад..., 1973). През този период отпадъкът от оловно-сребърната, злато съдържащата и желязната руда, обогатявани във фабриките на Минно-обогатителния комбинат „Христо Михайлов“ („Чипровци“ и „Мартиново“) се зауства директно в реката. През пролетта на 1964 г. след авария от хвостохранилището „Мечи дол“ изтича отпадък от 100 000 m³ богат на арсен и тежки метали (Отчет за изпълнение на проучвателни работи..., 1994; Коцев, 2003, Kotsev et al., 2015). Продължителното антропогенното въздействие в поречието на р. Огоста съчетано със заустването на отпадъка от рудниците директно в реката през периода на най-активен рудодобив е в основата на замърсяването с арсен и тежки метали на повърхностните води и почвите, които от своя страна са фактор за замърсяване на подземните води в заливната тераса. За изследвания период декември 2013 г. - август 2015 г. в 72 % от пробите са установени повишени съдържания на арсен в речните води, според стандарта за много добро качество (I категория) на повърхностните води – 10 µg/l (Наредба Н-4 от 14. 09. 2012). През 2013 г. – 2014 г. по проекта ASCOR от опашката на яз. Огоста до с. Мартиново са взети 864 проби от 340 пункта на дълбочина: от 0 cm до 500 cm. След анализ на данните на почвените проби по проекта ASCOR е установено, че концентрацията на арсен от всички опробвани хоризонти варира между 9 и 29 530 mg/kg. Максимална концентрация на As - 29 530 mg/kg е установена в почвите на ливадите западно от с. Горна Ковачица в почвения хоризонт между 40-60 cm (фиг. 34 - 180B). Най-ниското съдържание на арсен е 9 mg/kg установено също за почвите на с. Горна Ковачица в почвения хоризонт около 250 cm (фиг. 34 - P16)



Фиг. 34 Радиално разпределение на арсен в почвите на ливадите на с. Горна Ковачица



Фиг. 38. Радиална диференциация на съдържанията на арсен (mg/kg) в почвите на активната заливна тераса

Глава 4 „Оценка на уязвимостта на грунтового води от замърсяване с арсен на заливната тераса на р. Огоста между с. Мартиново и яз. „Огоста“ е най-обемната глава в дисертацията. В първата част на Глава 4 са разгледани картографирането и пространствена характеристика на оценъчните показатели в модифицирания индекс DRESPI.

Дълбочина до подземните (грунтови) води (D) -картата на дълбочината до подземните води (фиг. 44) е съставена в ГИС-среда с помощта на ArcGIS с функцията Raster Calculator. Използвани са два растерни слоя с размер на пиксела 1x1 m: цифров модел на релефа - DTM (изготвен от Tcherkezova, 2015, в рамките на проект ASCOR) и хидродинамична карта (по данни за измервания на абсолютни коти на водните нива от сондажните и тръбни кладенци и почвени профили през септември 2014 г. (изготвена от Гергинов, 2015, по проекта ASCOR). Данните от мониторинговата мрежа на подземните води, показват, че нивото им се изменя непрекъснато във времето. Въпреки, че създадената карта представя един статистичен момент за нивата на подземните води от септември 2014 г., тя дава представителна картина за изменението им в долината на р. Огоста. Оценката на достоверността на получената карта е направена чрез сравнение на средните нива на подземните води през разглеждания период: август 2014 – август 2015 г с изготвената карта. Анализът показва, че в тринадесет от общо двадесет и един кладенеца средните нива на подземните води отговарят на нивата от съставената карта, а в пет от тях несъответствието е незначително. Най-голямо е несъвпадението при пункт P17 – 0,60 cm и P14 - 0,55 cm. Най-вероятната причина е значително по-високите стойности на колебания на нивата на подземните води в близост до р. Огоста.

Двата кладенеца са в непосредствена близост до реката (на около 11 m), където колебанията на нивото на подземните води са свързани с колебания на речното ниво. Зоните с плитко залягане на водите (0-1 m) са привързани към старите речни корита и прирусовите заливаеми участъци. Подземните води в активната заливна тераса на р. Огоста варират между 1 и 2,5 m, а във високата заливна тераса между 2,5-5 m. В резултат на направения анализ може да се направят следните изводи:

1. в района се наблюдават всичките 10 класа на DRESPI индекса (фиг. 44);
2. най-голям е потенциала от замърсяване с арсен на подземните води в прирусовите заливаеми участъци и активната заливна тераса;
3. най-малък е потенциала от замърсяване на подземните води във високата заливна тераса.

Подхранване на подземните води (R) - картата е съставена на базата на растерните слоеве за валежите и евапотранспирацията в ArcGIS-среда с функцията Raster Calculator. Валежите са основния приходен елемент във водния баланс на грунтового води в заливната тераса на р. Огоста, а евапотранспирацията (изпарението) е основния разходен елемент. Стойността на евапотранспирацията в настоящото изследване е изчислена по формулата на Turk:

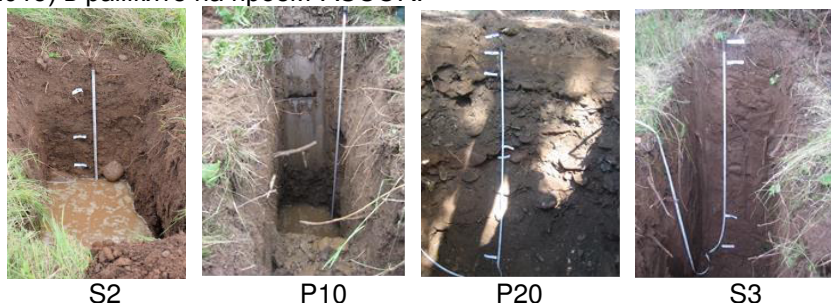
$$E = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \left(\frac{P}{L}\right)^2}}, \text{ където:}$$

E – реална (действителна) евапотранспирация, P е средногодишната сума на валежите, mm, 0,9 е корелационен коефициент, L (изпаряемост) = $300 + 25t + 0,05t^3$, t е средногодишната температура на въздуха, °C.

В резултат на направения анализ на подхранването на подземните води могат да се направят следните изводи:

1. подхранването на подземните води варира между 201 и 350 mm/y (фиг. 50);
2. в разглеждания район се наблюдават три класа 201-250 mm/y, 251-300 mm/y и 301-350 mm/y, със следните оценки 5, 6 и 7 (фиг. 51);
3. по-малката диференциация по този показател може да се обясни с относително еднаквите валежи и температури за изследвания район, поради неговият размер на района.

Дебелина на почвената покривка (I) - картата е съставена в ГИС-среда с помощта на ArcGIS. За съставянето ѝ са използвани данни за дебелината на почвената покривка от почвените профили, изготвени при изграждането на тръбните и сондажни кладенци (фиг. 52) по геоморфографските единици, регионализирани от Tcherkezova (2015) в рамките на проект ASCOR.



Фиг. 52 Дебелина (мощност) на избрани почвени профили от заливната тераса на р. Огоста

Съставената карта представя една генерализирана картина за дълбочината на почвената покривка в границите на изследвания район. Причините за това са комплексни от една страна, няма единен критерии за определяне дълбочината (мощността) на почвата, а от друга голямата вариация на разглеждания показател в рамките на съвременните геоморфографски единици (зони). Голямата вариация на дълбочината на почвите по геоморфографски зони най-вероятно може да се обясни с промяна в руслото на р. Огоста в миналото (фиг. 13), както и с антропогенната дейност. Въпреки това тя отразява установената на терен обща тенденция, че дълбочината на почвата се увеличава от прирусловата и активната (S2, P20) към високата заливна тераса (P10) (фиг. 52). За целите на настоящото изследване за долна граница на почвата е възприета горната граница на наслагите от чакъли и/или валуни (хоризонт C_1), а в случаите, когато не са разкрити такива, установеното водно ниво на подземните води към датата на прокопаване на почвените профили (фиг. 52). В съставяне на картата не са взети под внимание почвени профили, за които не е достигнат хоризонт C_1 и не е установено водно ниво, например като почвен профил S3 (фиг. 52). В настоящата дисертация поради недостатъчните на брой почвени профили за прилагането на интерполация и голямата вариация на разглеждания показател, за съставяне на картата за дебелината на почвената покривка използваме осреднени стойности за дебелината ѝ по разглежданите геоморфографски зони. Анализът на така създадената карта показва,

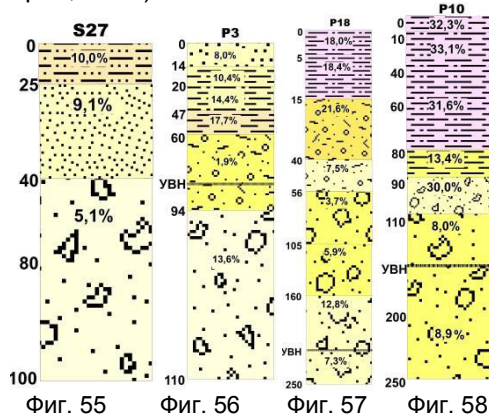
че осреднената дебелината на почвения слой по геоморфологически ивици на заливната тераса на р. Огоста варира между 41 и 120 cm. Трябва да се отбележи, че на терен за активната заливна тераса при профил S33 и S22 е установена съответно мощност от 20 и 23 cm, а за високата заливна тераса при почвен профил P10 (фиг. 52) около 200 cm. Най-малка е дебелината на почвата в прирусловата заливна тераса (фиг. 53). По всяка вероятност причината за това е, че почвите са млади и са в начален стадий на развитие. Хумусният хоризонт е със слабо развит чим и трудно се отличава от почвообразуващите материали. Под хоризонт (A) се редуват слоеве от нанос – хоризонт C₁. В прирусловата заливна тераса на р. Огоста дълбочината на почвата варира между 20 и 70 cm, а средната дълбочина е 45 cm. Активната заливна тераса се характеризира с по-голяма дебелина на почвения слой (фиг. 53). Той има добре оформен хоризонт A (чим и хумусно-акумулативен), който постепенно преминава в C₁ хоризонт. В активната заливна тераса дълбочината на почвата варира между 60 и 100 cm, а средната дълбочина е 80 cm. Най-голяма е дебелината на почвите във високата заливна тераса 3,5-5 m и 5-6,5 m (фиг. 53). За тези почви е характерно не само наличието на алувиални, но и на делувиялно-пролувиални склонови наслаги (фиг. 52 – P10). Дълбочината на почвата в тераса 3,5-5 m е между 70 и 120 cm, а средната е 95 cm, а за терасата 5-6,5 m е между 60 и 180 cm, а средната дълбочина е 120 cm. От направеното сравнение и по-горе изложените факти, може да се направят следните изводи:

1. най-уязвими от замърсяване са подземните води в прирусловата заливна тераса, а най-слабо във високата заливна тераса;
2. в района се наблюдават четири класа 41-60 cm 61-80 cm, 81-100 cm и 101-120 cm (фиг. 53), оценени съответно с 7, 6, 5, 4 (фиг. 54).

Механичен състав на почвата (физическа глина - %) (S) -

картата на механичния състав на почвата е съставена чрез осредняване по геоморфологически единици (ивици) на стойностите на най-високото съдържание на физическа глина в отделните почвени профили. За нейното съставяне са използвани данни от почвените доклади на „Водпроект“ АД (1992 г.), на част от почвените профили на сондажните и тръбни кладенци и генерализирания вариант на картата на геоморфологическите единици на Tcherkezova (2015). На основа на анализа на почвените профили (фиг. 55, 56, 57, 58) и картата за съдържанията на физическа глина в почвените хоризонти е установено, че с отдалечаването от реката се увеличава и

съдържанието на физическа глина в почвите. Това би могло да се обясни с вида алувий в границите на заливната тераса, напр. прируслов алувий (коритен), алувий на активната (централна) заливна тераса и алувий на тилната тераса (старичен) (Алексиев и др., 2011; Пенков, 1988; Гюров, 1990).



От направената характеристика на съдържанието на физическа глина в почвите по геоморфологички зони може да се направят следните изводи:

1. в района са установени 4 класа на DRESPI индекса: 5-10%; 10-20%; 20-30% и 30-45% оценени съответно с 5, 6, 7 и 8 (фиг. 59);
2. най-уязвими от замърсяване с арсен са подземните води в прирусловите заливаеми участъци, а най-малко уязвими във високата заливна тераса (фиг. 60).

Признаци за оглеяване на почвата (E) - картата на признаците за оглеяване на почвата (E) е съставена на база на два растерни слоя на геоморфологичките единици (ивици) и дълбочината до подземните води. След проведени теренни изследвания от автора на настоящата дисертация в рамките на проекта ASCOR в периода ноември 2013 – септември 2014 г. е установено, че редукционни условия са характерни за почвените хоризонти на прирусловата заливна тераса, при плитко залягане на подземните води (фиг. 60).

В резултат на направения анализ могат да се направят следните изводи:

1. картата за признаците на оглеяване на почвата дава една обща представа за най-вероятните места с условия на редукция;

2. оценката на достоверността на получената карта е направена чрез сравнение на картата с установените на терен пунктове с признаци на редукция;
3. от анализът на картата с пунктовете на установените признаци на редукция е видно, че те са свързани предимно с местата на плитко залягане на грунтовите води в прирусловите заливаеми участъци и старите речни корита;
4. разглежданият район е разделен на два класа по признаци на редукция (редукционни условия) оценени с 10 и без признаци на редукция (окислителни условия) с 1 (фиг. 61 и фиг. 62).

Активна реакция (pH) на почвата (P) - картата за активната реакция (pH) на почвата е съставена по данни от почвените доклади на „Водпроект“ АД, докладите на фирма „Спектротех“ (1994) за съдържания на тежки метали и арсен на почвите в долината на р. Огоста и на почвените проби от теренните изследвания в периода 2012-2014 г. Използвана е осреднена стойност на активната реакция (pH) на почвените хоризонти за всеки отделен пункт на опробване. За интерполиране на получените стойности е използвана Spline интерполация с бариери, като за бариера служи границата на заливната тераса. За оценяване на уязвимостта от замърсяване на подземните води се използва скалата за pH съобразена с AsV (табл. 24). Почвите в долината на р. Чипровска се характеризират със силно (5,1-5,5) и слабо кисела (6,1-6,5) активна реакция. Минималното pH в разглеждания район е 5,4 (шурф S29, 0-20 cm) с. Железна Това се обяснява с вида на скалите, които са безкарбонатни. При с. Бели Мел, става смяна на безкарбонатните с карбонатни скали (Близнаков и др., 2004), в тях е значително присъствието на калций и магнезий (Геоложка карта на България). Измерената максимална активна реакция на почвата е 8,91 (14B, 40-55 cm) с. Горно Церовене. В участъка между с. Бели Мел и с. Горно Церовене почвата е със слабо алкална до умерено алкална реакция. Това се обяснява освен с преобладаващите карбонатни скали, така и с процесите на акумулация, при които са отложени карбонатни отпадъчни продукти (калцит и сидерит) от минно-обогатителната дейност от трите хвостохранилищата „Голям Буковец“, „Чипровци“ и „Мечи дол“ (Веселинов и др., 1996; Mladenova et al., 2004). В резултат на направения анализ на активната реакция на почвата могат да се направят следните изводи:

1. в района се наблюдават седем класа: <5,5 (оценка 1); 5,6-6,0 (оценка 2); 6,1-6,5 (оценка 3); 6,6-7,3 (оценка 4); 7,4-7,8 (оценка 5); 7,9-8,4 (оценка 6) и >8,4 (оценка 7) (фиг. 65, 66).

2. в близост до р. Огоста в прирусловата и активна тераса преобладава слабо алкалната (7,4-7,8) до умерено алкална (7,9-8,4) активна реакция, а с отдалечаването от нея неутралната и слабо киселата (фиг. 64). Това разпределение на активната реакция в заливната тераса на р. Огоста, потвърждава твърдението, че алкалната реакция на почвата е свързана с отлагането на твърдия отпадък от обогатяването на рудите върху заливната тераса. Това се доказва и от високите съдържания на арсен над МДК, които най-често са обвързани с алкалната реакция на почвата. Изчисленият коефициент на корелация между съдържанията на арсен и активната реакция на почвата е 0,61.

Картата на уязвимостта от замърсяване с арсен на грунтовите води в заливната тераса на р. Огоста е съставена чрез сумиране на растерните слоеве за всички показатели (фиг. 68а) в ArcGIS-среда с функцията Raster Calculator, по формулата: $Di = D_R D_W + R_R R_W + E_R E_W + S_R S_W + P_R P_W + I_R I_W$, където: Di – DRESPI индекс (потенциално замърсяване), D, R, E, S, P и I – оценъчни показатели, R – рейтинг (оценка) на показателя, W – тежест на показателя. DRESPI индекса варира между 64 и 179 и е разделен в пет категории: естествено защитени (<79); много слабо уязвими (80-99); слабо уязвими (100-119); средно уязвими (120-159) и силно уязвими (160-179). Въз основа на изчислената уязвимост към всяка категория са приложени различни цветове. Териториите силно уязвими от замърсяване са в оранжев цвят (в близост до реката). Средно уязвимите територии от замърсяване са в жълт цвят (в близост до силно уязвимите райони, но са разположени по далеч от реката), а слабо, много слабо и естествено защитените територии са в различен нюанс на зеленото (отдалечените от реката и високи участъци на заливната речна тераса). От общата площ на изследваната територия 18% е с висока уязвимост, 35% със средна и 47% е слабо, много слабо уязвима или естествено защитена. От съставената карта за уязвимостта на подземните води от замърсяване с арсен в заливната тераса на р. Огоста с помощта на модифицирания индекс метод DRESPI ясно се очертават три най-уязвими района: **•Първият**, при вливането на р. Чипровска в р. Превалска, западно от с. Бели Мел. Тук са измерени максималните количества в подземните води както на общ арсен, така и на по-токсичната му форма AsIII. От картите на отделните показатели е видно, че в този район подземните води залягат на малка дълбочина от повърхността, дебелината на почвата е малка между 40-80 см, почвите се характеризират с ниски съдържания на физическа глина между 5 и 20%, има наличие на

редукционни условия и активната реакция на почвата е между 7,4 и 8,4. Високите съдържания на арсен в подземните води могат да се обяснят и с други фактори, които не са включени в DRESPI индекса, например с разширяване на долината на р. Огоста, намаляване на скоростта на реката, при която се наблюдава засилване на процесите на акумулация. Това е имало особено важно значение в периода на активен рудодобив, при които на заливната тераса са се отложили значително количество замърсени наноси с арсен. В резултат на миграция, той е достигнал и до нивото на подземните води. •*Вторият район* се очертава в непосредствена близост до р. Огоста около с. Горна Ковачица. Подобно на участъка западно от с. Бели Мел и тук подземните води залягат на малка дълбочина до 1 m, дебелината на почвената покривка е сравнително малка и съдържанията на физическа глина са ниски има също условия за образуване на редукционна обстановка и преобладава алкалната активна реакция на почвата между 7,4-8,4. •*Третият* силно уязвим район е между с. Гаврил Геново и с. Горно Церовене (яз. Огоста). Това подобно и на другите два обособени района се обяснява с плиткото залягане на подземните води до 1-1,5 m, с малката дебелината на почвената покривка - 40-80 cm, съдържанията на физическа глина са до около 20%, има условия за образуване на глеева обстановка и отново преобладава алкалната активна реакция на почвата 7,4-8,4.

Във втората част на главата е представена *верификацията на индекс метода DRESPI* с данни за съдържанията на арсен в подземните води. Анализът на оценката на достоверността на изготвената карта за уязвимостта на грунтовете води от замърсяване с арсен в заливната тераса на р. Огоста е направена с данните за съдържанията на арсен от тръбните и сондажни кладенците, по проекта ASCOR за месец септември, 2014 (фиг. 71в) и средните стойности за периода август 2014 – август 2015 г. (фиг. 72в). За верификация на DRESPI индекса се използва месец септември 2014 г., защото освен данните за съдържанията на арсен от кладенците има такива и за почвените шурфове. Изборът да се използват и средните стойности за концентрацията на арсен в периода август 2014 – август 2015 г. е определен от по-дългия период на наблюдение, чрез който се представя по-пълното им изменение в подземните води. За целта на верификацията, съдържанията на арсен в подземните води са разделени на три групи (фиг. 71в и 72в). При групирането е използвана Наредба № 1/10.10.2007 за проучване, ползване и опазване на подземните води и Наредба № 18/27.05.2009 за качеството на водите за напояване на земеделските култури. В достъпната научна литература не е открита информация за

съдържания на арсен в грунтови води в заливни тераси с различна степен на уязвимост. Затова в настоящата работа очакваните концентрации на елемента са обвързани с праговете определени от Световната здравна организация и възприети от националното ни законодателство. Направено е допускане, че в естествено защитените, много слабо и слабо уязвимите територии концентрацията на арсен би трябвало да бъде под стандарта за качество от 10 $\mu\text{g/l}$ на подземните води. Съдържания между стандарта за качество на подземните води (10 $\mu\text{g/l}$) и пределно допустимите стойности, предназначени за напояване на земеделските култури (100 $\mu\text{g/l}$) са определени за верификация на средно уязвимите територии. В силно уязвимите участъци се очакват концентрации над 100 $\mu\text{g/l}$ (фиг. 71в и 72в). През месец септември от общо 43 пункта, в 22 са установени стойности на арсен под 10 $\mu\text{g/l}$, в 16 от тях между 10 $\mu\text{g/l}$ и 100 $\mu\text{g/l}$ и в 5 над 100 $\mu\text{g/l}$ (табл. 31, фиг. 72). В ArcGIS с функцията Extraction (Arc Toolbox – Spatial Analyst Tools – Extraction – Extract Multi Values to Point) са установени за всеки пункт стойността на DRESPI индекса. Има много добра съпоставимост между концентрацията на арсен и изчисления DRESPI индекс. Изключение правят пункт S1, P6 и P18. Особено голямо е разминаването при пункт S1, концентрацията на As е 4,2 $\mu\text{g/l}$, а изчисления DRESPI индекс 145. За пункт P6 и P18 разминаванията са в рамките на статистическата грешка (10%). Максималната концентрация на арсен в грунтовите води през месец септември е установена при с. Бели Мел (P20) - 1856 $\mu\text{g/l}$. В този пункт съдържанията на арсен превишават стандарта за качество на подземните води с 185,6 пъти. Този пункт попада в зона силно уязвима от замърсяване с арсен на подземни води със стойност на DRESPI индексът от 162. Минималното съдържание на арсен през месец септември е 1,23 $\mu\text{g/l}$ установено в кладенец – P7. Концентрацията на арсен в кладенец P7 е в пъти по-ниска от стандарта за качество на подземните води. От фиг. 71в се вижда, че за кладенец P7 е установен DRESPI индекс от 113. Следователно разглеждания пункт попада в слабо уязвима зона на замърсяване с арсен на подземните води. Оценката на достоверността на изготвената карта за уязвимостта на грунтовите води от замърсяване с арсен в заливната тераса на р. Огоста е направена и със средните стойности на арсена за периода август 2014 – август 2015 г. От общо 21 пункта в 6 са измерени съдържания на арсен под 10 $\mu\text{g/l}$, в 12 между 10 $\mu\text{g/l}$ и 100 $\mu\text{g/l}$ и в 5 над 100 $\mu\text{g/l}$. За кладенците P3, P1, P6 и P19 също има разминаване между установените съдържания на арсен и изчисления DRESPI индекс, но те са незначителни. Трябва да се отбележи, че изчисленияте средни стойности на арсен за кладенец

P18 са 5,89 µg/l, което съответства на определената за участъка слаба уязвимост от замърсяване. Максималните средни съдържания на арсен отново се установяват за кладенец P20. Осреднената концентрация на арсена през посочения период е 487,7 µg/l и превишава многократно стандарта за качество на подземните води. Отчита се пълно съвпадение между концентрацията на арсен и изчисления DRESPI индекс. Минимални средни съдържания на арсен са установени за кладенец P12 – 2,38 µg/l, P9 – 2,64 µg/l, P10 – 2,87 µg/l. За тях е изчислен следния DRESPI индекс P12 – 106, P9 – 115, P10 – 101, според които подземните води са слабо уязвими от замърсяване с арсен.

В тази част от главата е представена и зависимостта между съдържанията на арсен в подземните води и почвите и геоморфографски ивици, тук представяме само *зависимостта между съдържанията на арсен в подземните води и геоморфографските ивици*. На фиг. 76в е представена зависимостта между съдържанията на арсен в подземните води и геоморфографските ивици. Най-високи са съдържанията на арсен в подземните води в прирусовите заливаеми участъци при с. Бели Мел (P20), с. Горна Ковачица и около с. Гаврил Геново в местността „Орешак“, което може да се обясни с комплекс от причини, като по-често преобладаващите редукиционни условия, алкалната активна реакция на почвата, лекия механичен състав на почвата - много ниски съдържания на физическа глина, високия коефициент на филтрация и високите съдържания на арсен в почвата именно в тази зона (табл. 33).

Таблица 33.

Активна реакция на почвата, физическа глина и коефициент на филтрация за кладенец P20, с. Бели Мел

Кладенец	Хоризонт, cm	pH	Физическа глина (%)	Ks* cm/d	As mg/kg в почвите
P20	0-10	7,37	9,6	74,6	1682
P20	25-75	8,07	3,9	236,63	16580
P20	75-85	7,94	15,4	88,44	307,1
P20	85-160	8,53	3,1	440,68	341,4
P20	200-260	8,45	5,6	243,63	131,8

* по Антонов, 2015 изчислен по проекта ASCOR

С отдалечаване от реката към заливната речна тераса (Th) 3,5-5 и 5-6,5 m концентрацията на арсен в подземните води намалява.

Това се дължи на комплексните фактори от които зависи миграцията на арсенът в почвата. Преобладават окислителните условия, кисела активна реакция на почвата, високи съдържания на физическа глина (%), нисък коефициент на филтрация и др. (табл. 34) и ниски съдържания на арсен в почвата. Типични примери са кладенец Р9 (2,64 µg/l), Р10 (2,87 µg/l), Р12 (2,38 µg/l) и др.

Таблица 34.

Активна реакция на почвата, физическа глина и коефициент на филтрация за кладенец Р10, с. Гаврил Геново

Кладенец	Хоризонт, см	pH	Физическа глина (%)	Ks* cm/d	As mg/kg в почвите
P10	0-20	6,5	32,3	60,43	31,3
P10	20-40	6,7	33,1	56,8	32,9
P10	40-60	6,9	31,6	63,88	22,1
P10	80-100	7,0	13,4	76,47	23,8
P10	100-150	7,1	30,0	34	28,7
P10	150-200	7,0	8,0	124,26	32,5
P10	200-300	7,1	8,9	107,61	35,8

* по Антонов, 2015 изчислен по проекта ASCOR

В края на главата е представено *райониране на изследваната територия* по степен на уязвимост от замърсяване с арсен на подземните води. След направения анализ за съдържанията на арсен в подземните води на заливната тераса на р. Огоста е видно, че в определени участъци те са силно замърсени. В редица от изследваните пунктове той надвишава многократно стандарта за качество на подземните води (10 µg/l) и максимално допустимите концентрации за напояване на земеделските земи (100 µg/l). Това може да се отрази негативно върху здравето на хората в бъдеще. Както се знае арсенът е силно токсичен елемент, без вкус и мирис, и при продължителен прием дори на малки количества от него, той се натрупва в организма на човек и причинява редица ракови заболявания, изменение на черния дроб и др. Това налага информиране на местното население за зоните застрашени от замърсяване на подземните води с арсен и за вземане на мерки за подобряване на тяхното качество. За тази цел трябва да се изготви райониране на територията. От направения до тук анализ се вижда,

че съществува диференциация на замърсяването на подземните води с арсен в границата на заливната тераса, което е обвързано ясно с геоморфологията ѝ. Имайки предвид това, изучаваната територия е поделена на четири района (фиг. 77), които са съобразени с границите на геоморфографските ивици. От направения анализ за съдържанията на арсен в подземните води по геогеоморфографски ивици и изчисления DRESPI индекс за всяка от тях (табл. 35) е видно, че силно уязвими от замърсяване са подземните води в прирусовите заливаеми участъци, а много слабо уязвими в заливната речна тераса (Th) 5-6,5 m. Изчислените статистически показатели (минимум, максимум, средна стойност, стандартно отклонение и медиана) в ArcGIS с помощта на Zonal Statistics as Table (Arc Toolbox-Spatial Analyst Tools-Zonal-Zonal Statistics as Table) подкрепят това твърдение. Поради силното вариране на стойностите на уязвимостта в отделните геоморфографски ивици, при тяхното осредняване е използвана медианата, а не средно аритметичната стойност на DRESPI индекса (фиг. 77).

Таблица 35

**Статистическо обобщение на DRESPI индекса по
геоморфографски ивици**

Геоморфографска зона	Минимум	Максимум	Средно	Стандартно отклонение	Медиана
Прирусови заливаеми участъци	114	179	146,5	16,4	167
Активна заливна тераса (T0)	71	177	124	24,7	123
Заливна речна тераса (Th) 3,5-5 m	69	170	119,5	18,9	104
Заливна речна тераса (Th) 5-6,5 m	67	157	112	15,0	97

Заключение

За изпълнение на поставената цел е направена модификация на индекс метода DRASTIC. Модифицираният метод е наречен DRESPI. Методът дава възможност да бъде оценена специфичната уязвимост от замърсяване с арсен на подземните (грунтови) води в заливни речни тераси и може да бъде прилаган за извършване на оценки в едър мащаб. Така разработената модификация е приложима за територията на България, тъй като са взети в предвид максималните и минимални стойности на валежите и евапотранспирацията в

нейните граници. Би могъл да се използва и за територии извън страната след промяна в интервалите за оценка на подхранването на подземните води. Известна неточност в получените резултати могат да се очакват за райони с по-значима пространствена диференциация на филтрационните свойства на водоносния хоризонт, доколкото в разработената методика са приети за относително еднородни и не се отчитат. Наличието на условия за формиране на по-съществен повърхностен отток в заливната тераса поради наличието на по-глинести почви, по-голяма интензивност на валежите и др., може също да увеличи грешката в крайната оценка на уязвимостта. Това се дължи на факта, че повърхностният отток в методиката е приет за нулев. За изчисляване на уязвимостта може да се отчита и ефекта от речните разливи и наводнения при налична информация за тяхната честота, продължителност и обхват, както и на данни за мобилизацията на арсена в почвата при подобни събития. Необходимо е и доуточняване на интервалите за оценка на показателите с допълнителни теренни, лабораторни изследвания и статистически анализи.

Районите с развита минно-добивна дейност са силно уязвими по отношение замърсяването на подземните води. Съставената карта на уязвимостта с метода DRSEPI може да се използва за планиране на местоположението на обектите на отпадъчните стопанства на миннодобивните и металургични предприятия.

Методът DRESPI е приложен за оценка на уязвимостта на грунтовите води на заливната тераса на р. Огоста. От общата площ на изследваната територия 18% е с висока уязвимост, 35% със средна и 47% е слабо, много слабо уязвима или естествено защитена. Установени са три района с висока уязвимост в изследваната част на долината на р. Огоста:

- Западните части от землището на с. Бели мел при вливането на р. Чипровска в р. Превалска;
- Част от землището на с. Горна Ковачица в близост до реката;
- Участъкът от долината между селата Гаврил Геново и Горно Церовене.

Сравняването на съставената карта на уязвимостта с резултатите от изследването по проекта ASCOR (август 2014-август 2015) за съдържанията на арсен в подземните води показват значително припокриване на районите с висока уязвимост на водоносните хоризонти с териториите, където са измерени високи концентрации на арсен в подземните води. От друга страна е установено, че най-високите концентрации на арсен в подземните води не винаги са обвързани с най-замърсените почвени хоризонти.

Това се обяснява с различната дълбочината на подземните води, строежът на заливната тераса, механичният състав на алувиалните наноси и почвата, окислително-редукционните условия, активната реакция на почвата и др. Верификацията на предложения метод дава основание да се приеме, че DRESPI индексът е подходящ за оценка и картографиране на уязвимостта на грунтовете води от замърсяване с арсен в заливни речни тераси. Извършеният анализ по геоморфологически зони показва, че най-слабо уязвими и същевременно най-малко замърсени са грунтовете води във високата заливна тераса на р. Огоста. С най-висока степен на уязвимост и същевременно най-замърсени са грунтовете води в прирусловите заливаеми участъци. Причината е плиткото им залягане и високата степен на замърсяване с арсен на почвите в тези участъци. Чрез грунтовете води той отново постъпва в реката и е причина за вторичното ѝ замърсяване. Подземните и речни води замърсяват и яз. „Огоста“ и са причина понастоящем водата на язовира да не се използва за напояване.

Създадената карта на уязвимостта от замърсяване с арсен на подземните води в заливната тераса на р. Огоста може да подпомогне общинските власти на изследваната територия за по-широкото разпространение на информацията относно най-уязвимите зони по отношение замърсяването на подземните води сред местното население. Целта е ограничаване на ползването на водоизточниците от заливната тераса.

При налично замърсяване на почвите с арсен в заливни речни тераси, съставената карта на уязвимостта с индекс метода DRESPI може да служи за предварително очертаване на участъците с най-висока опасност от повишени концентрации на арсен в подземните води и за вземане на мерки за тяхното проучване, мониторинг и последващо почистване.

Приноси в дисертационния труд

Научно-методични приноси

1. Приложено е оригинално съчетание от методи съобразени с особеностите на заливната тераса за оценка на уязвимостта от замърсяване на грунтовете води с арсен;
2. Разработена е модификация на DRASTIC индексът за оценка на специфичната уязвимост от замърсяване на подземните води с арсен в заливни речни тераси.

Научно-приложни приноси

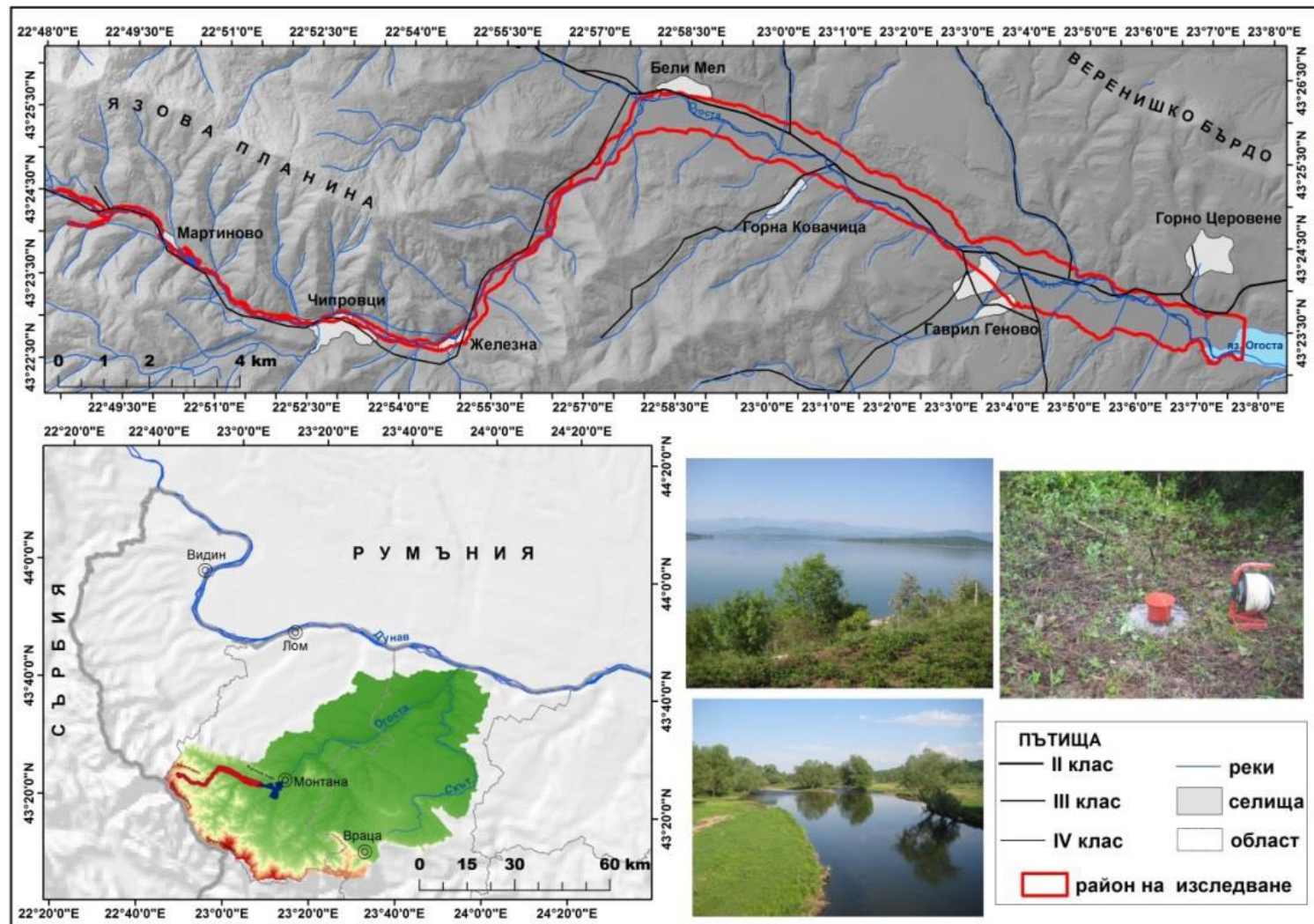
1. Съставена е карта на уязвимост от замърсяване с арсен на подземните води в заливната тераса на р. Огоста между селата Мартиново и Горна Ковачица;

2. В резултат на събраната и обработена информация са създадени нови бази данни и цифрови карти за участъка на долината на р. Огоста между с. Мартиново и с. Горно Церовене: дълбочина на подземните грунтови води; подхранване на подземните води; признаци за оглеяване на почвата; съдържание на физическа глина (%) в почвените хоризонти; активна реакция на почвата; дебелина на почвената покривка; карта на съдържанието на арсен в почвите за периода 1994-2014 г.

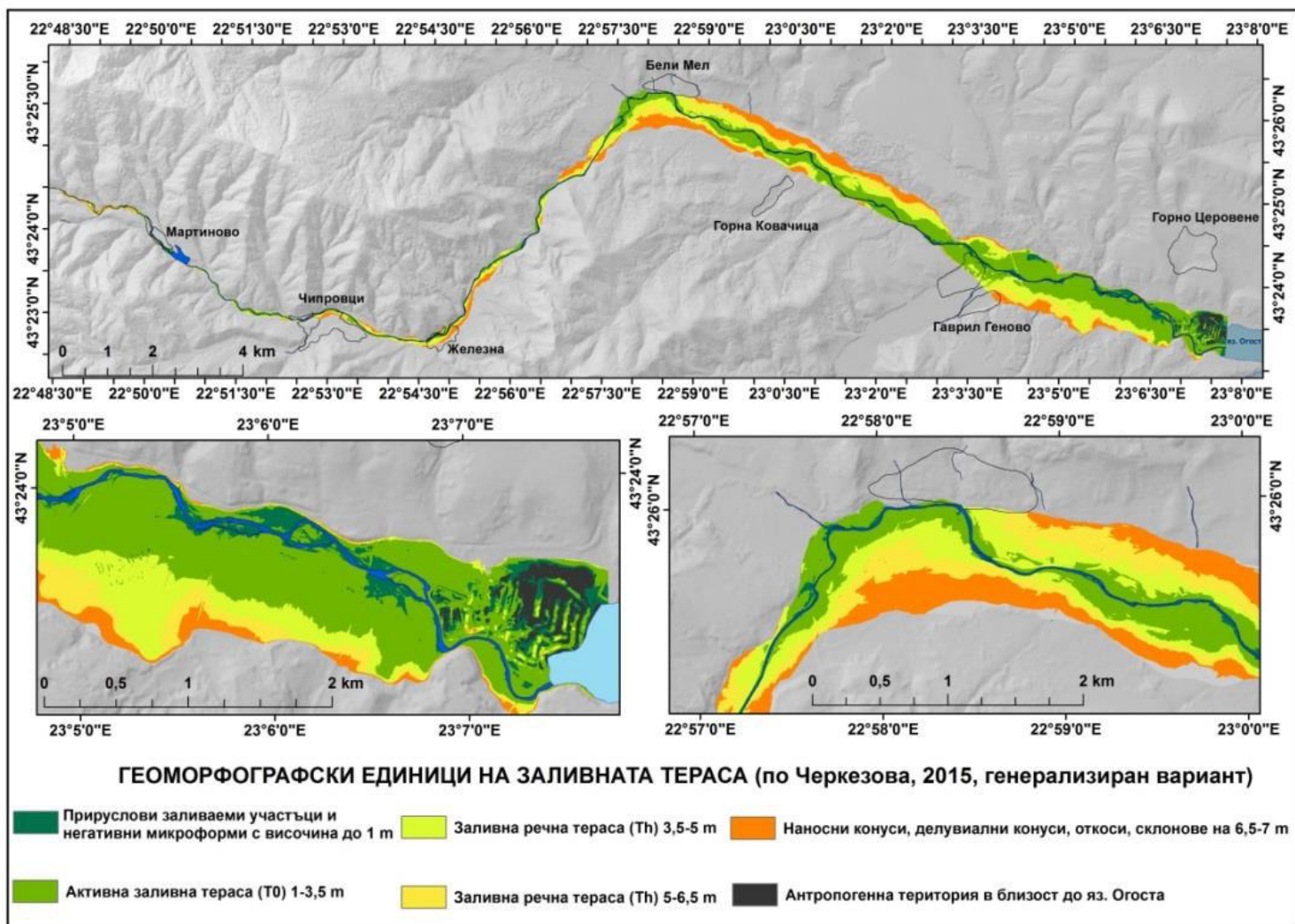
СПИСЪК

на публикациите във връзка с темата на дисертацията

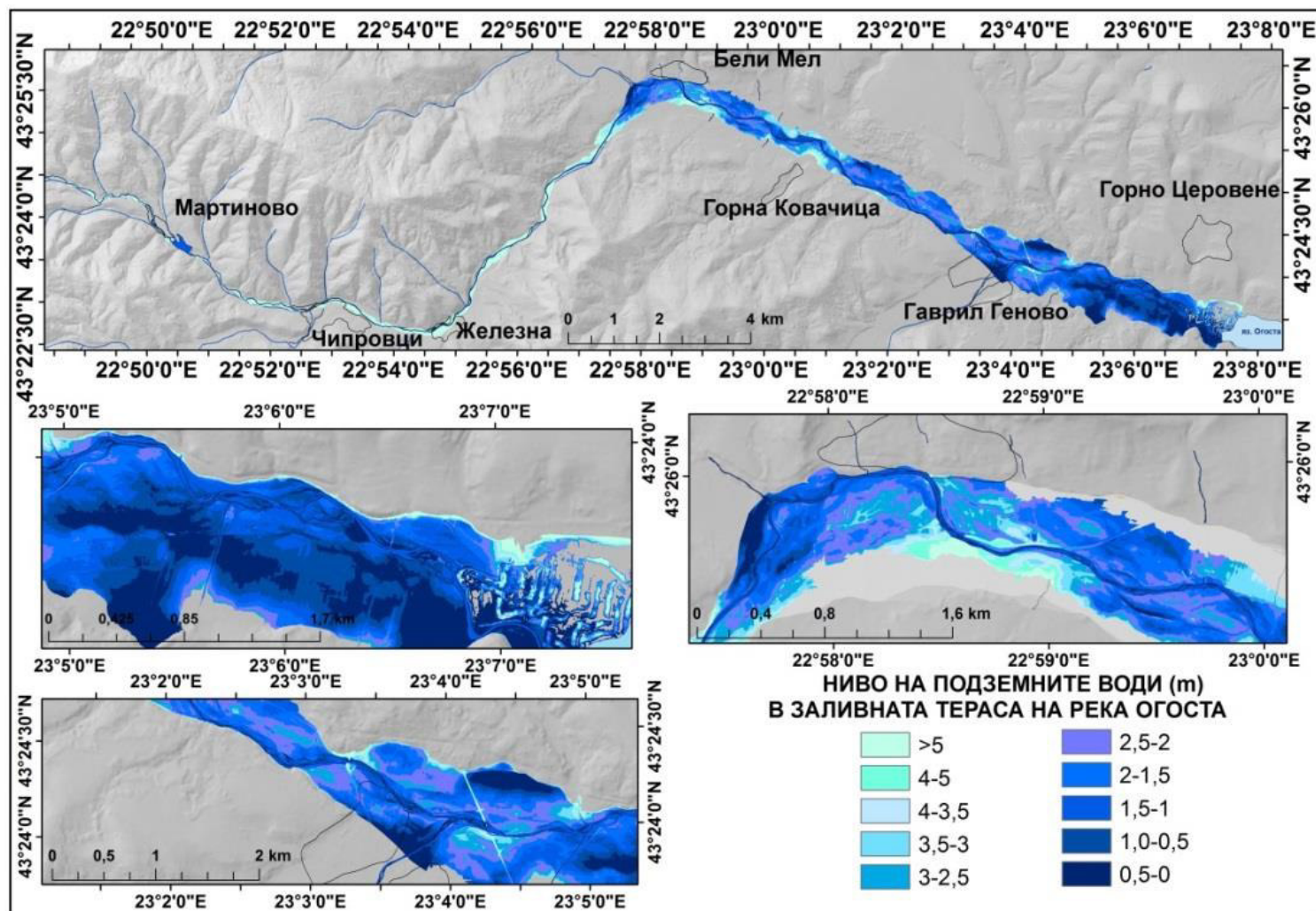
1. Стоянова, В. 2013. *Приложение на индекс методите от типа DRASTIC за оценка на уязвимостта на подземните води от замърсяване с арсен*, Проблеми на географията, БАН, кн. 3-4, 83-99
2. Стоянова, В. 2013. *Показатели за оценка на уязвимостта на подземните води от замърсяване с арсен в заливните речни тераси*, Сборник с доклади от Международна конференция „Географски науки и образование“, 1-2 ноември 2013г., 111-118
3. Стоянова, В. 2015. *Показатели за уязвимост от замърсяване с арсен на грунтовите води в заливната речна тераса на р. Огоста между с. Мартиново и яз. Огоста*, Проблеми на географията, БАН, кн. 3-4, под печат



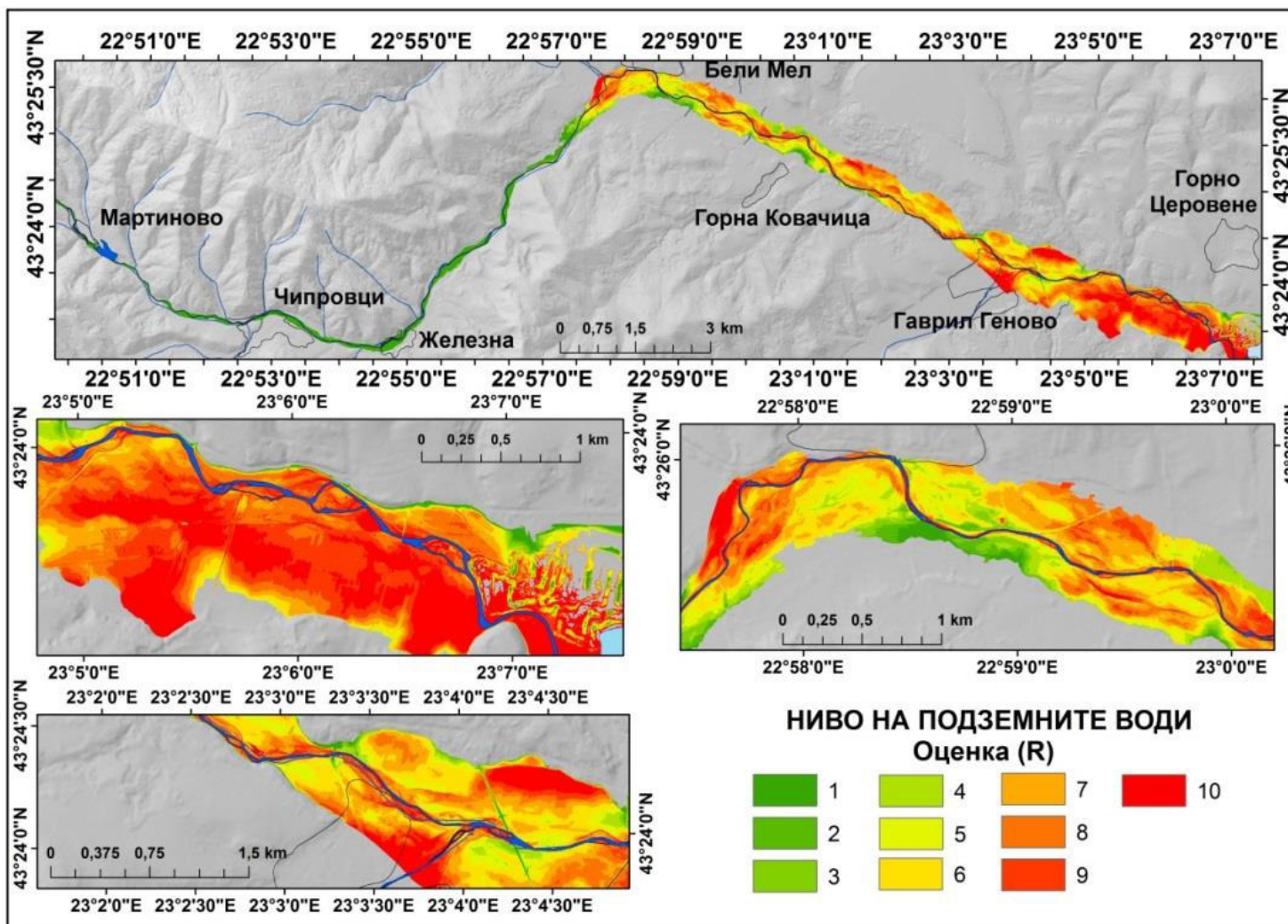
Фиг. 10. Район на изследване



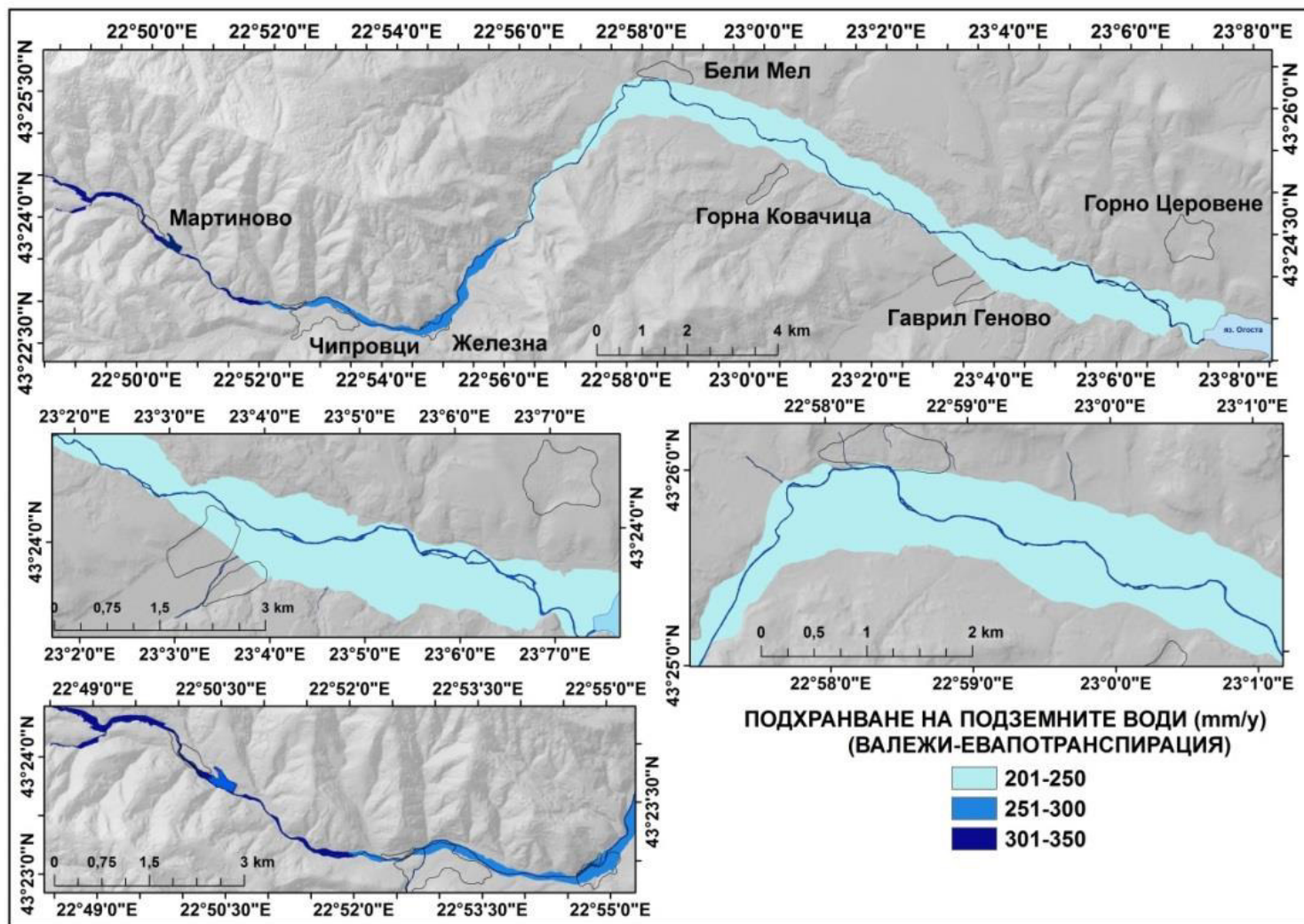
Фиг. 17. Геоморфографски единици на заливната тераса на р. Огоста (по Tcherkezova, 2015), генерализиран вариант (Стоянова, тук)



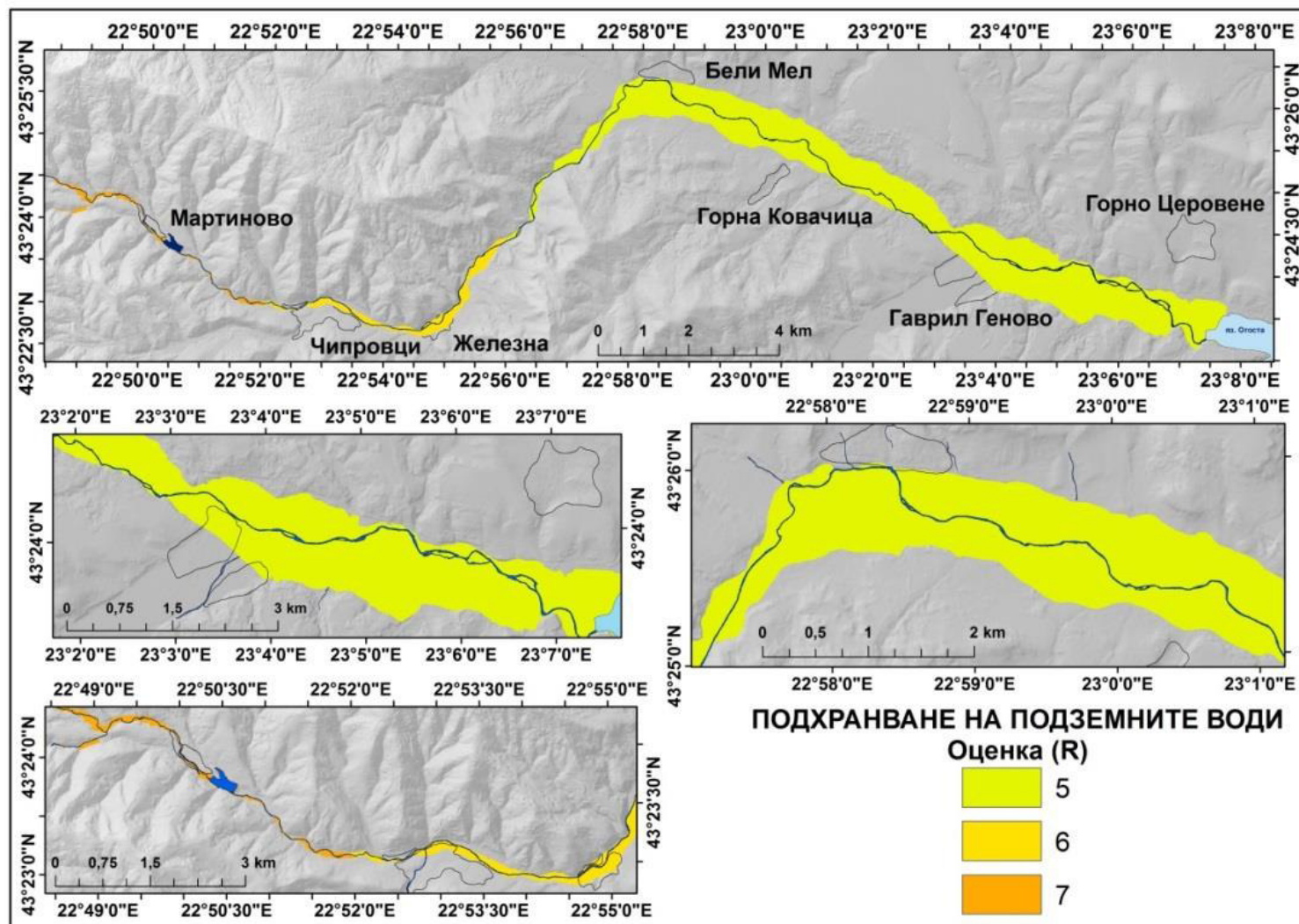
Фиг. 44. Ниво на подземните води в заливната тераса на р. Огоста



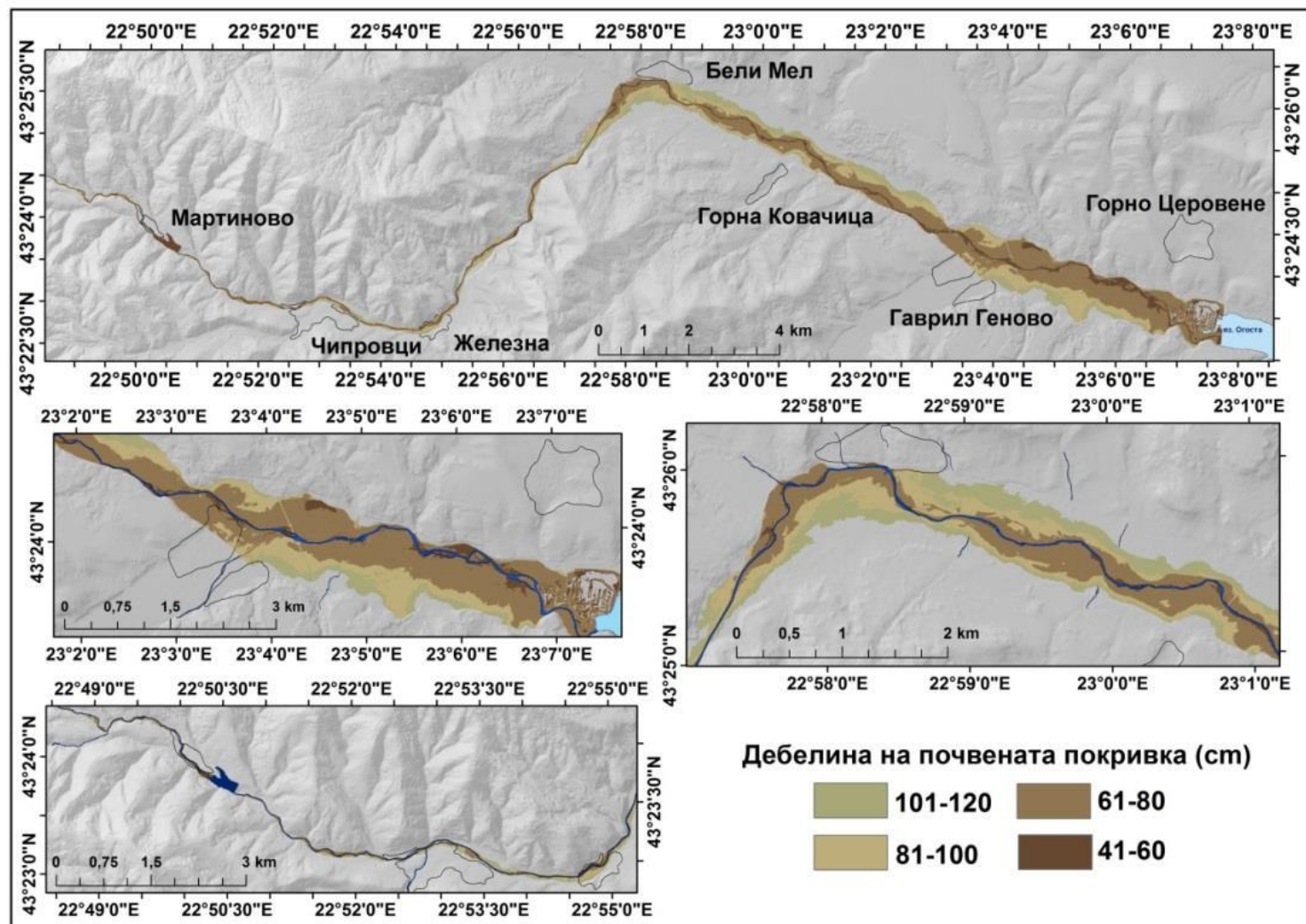
Фиг. 45. Оценка на нивото на подземните води в заливната тераса на р. Огоста



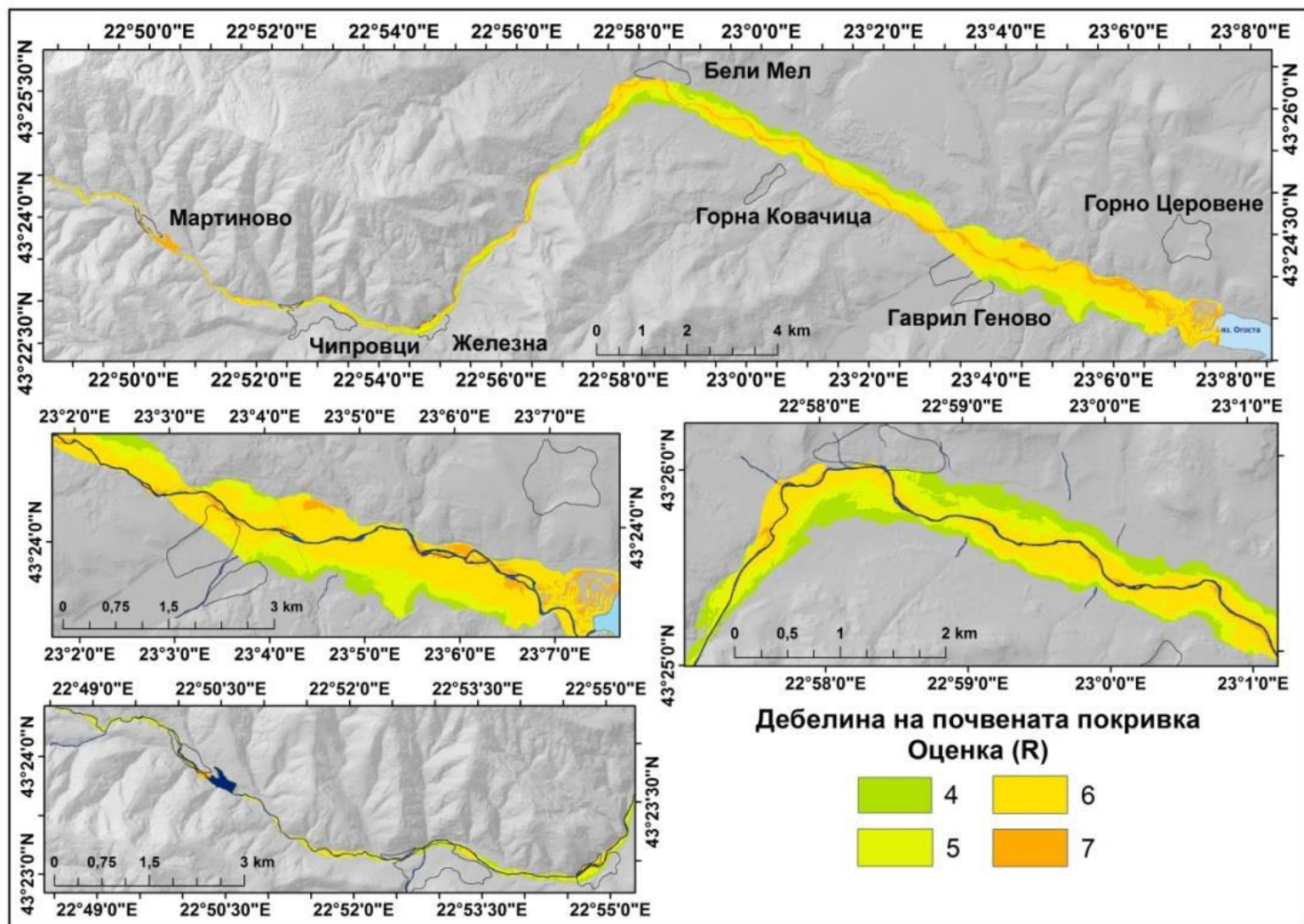
Фиг. 50 Подхранване на подземните води в заливната тераса на р. Огоста



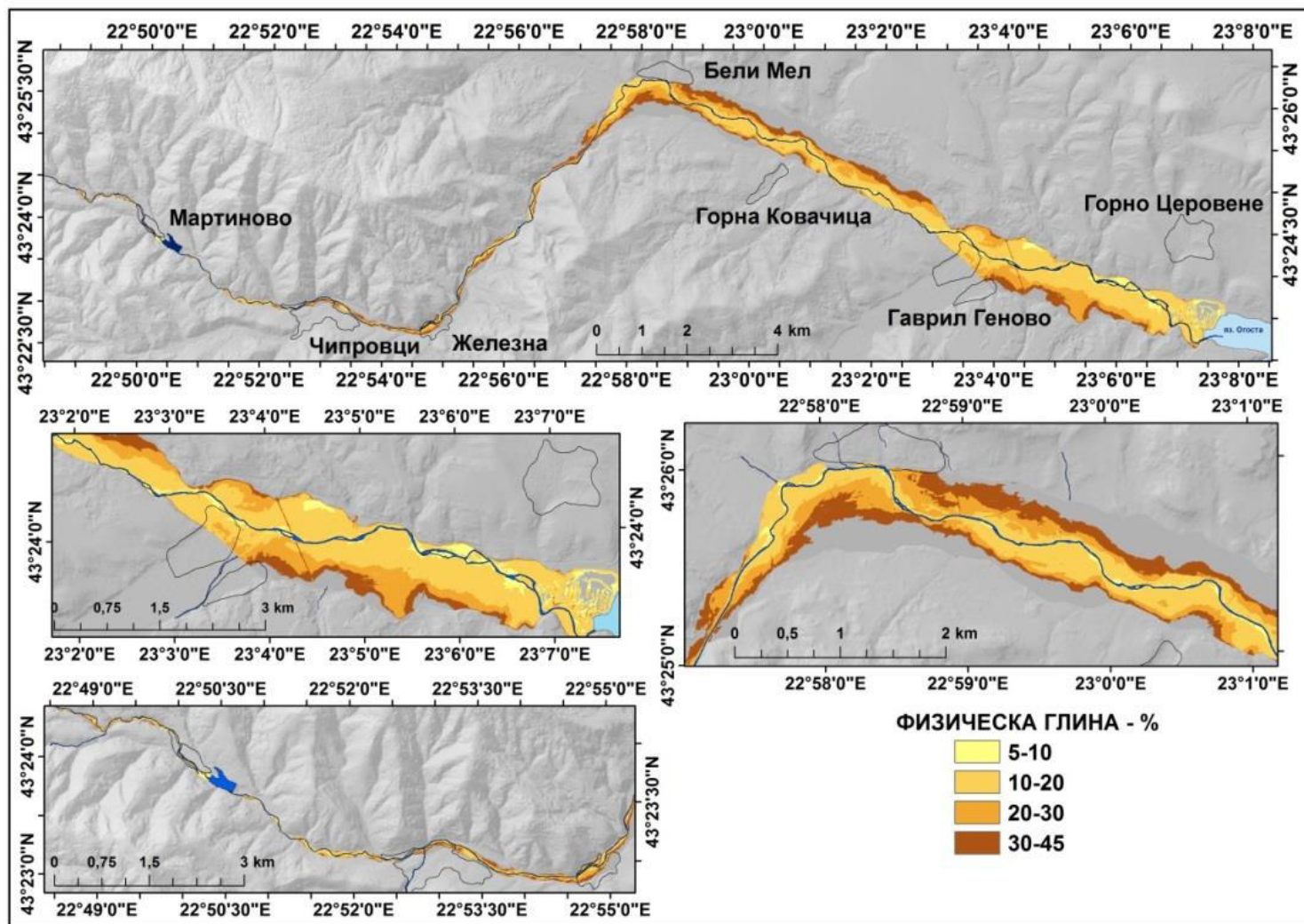
Фиг. 51 Оценка на подхранването на подземните води в заливната тераса на р. Огоста



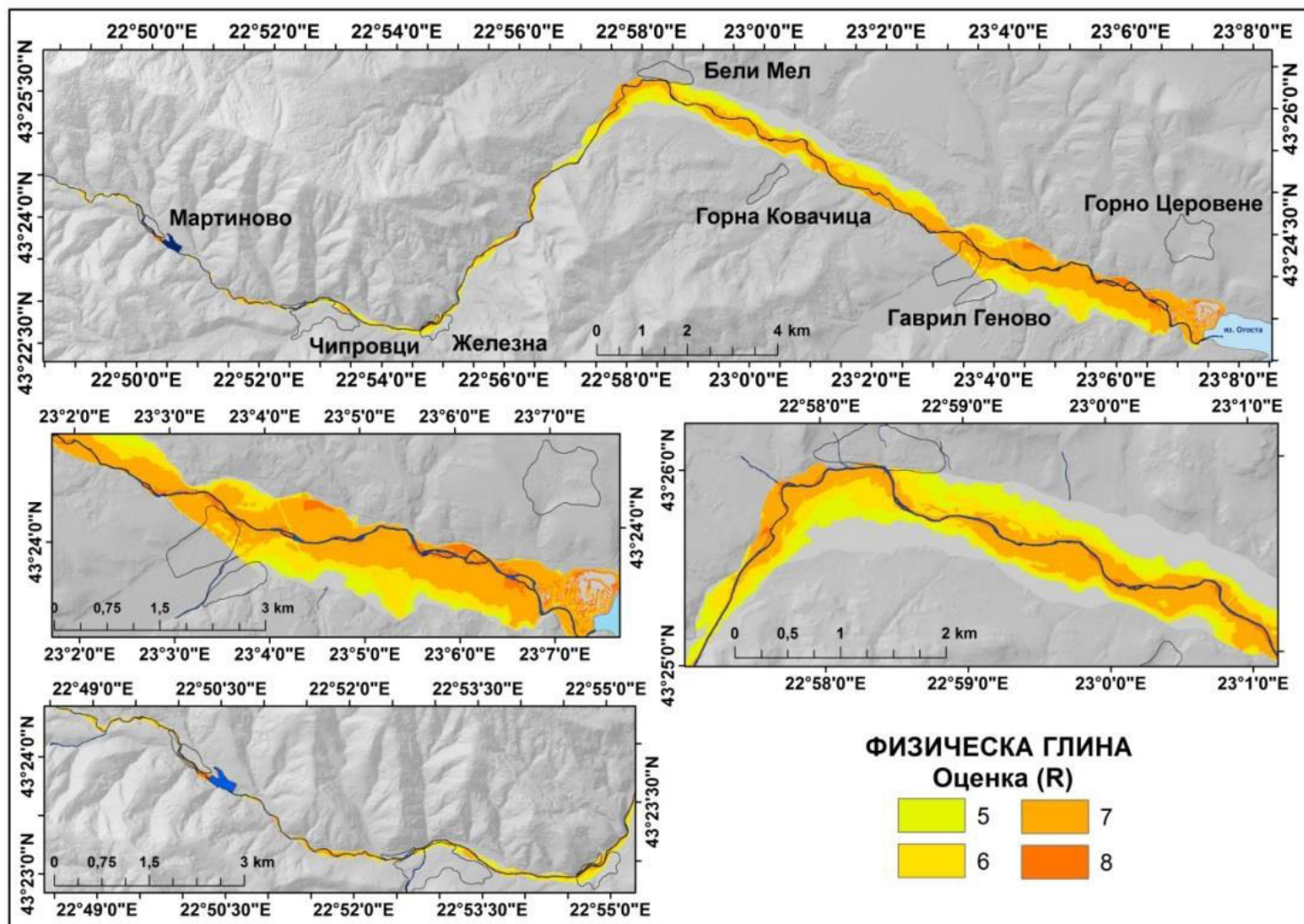
Фиг. 53. Дебелина на почвената покривка в заливната тераса на р. Огоста



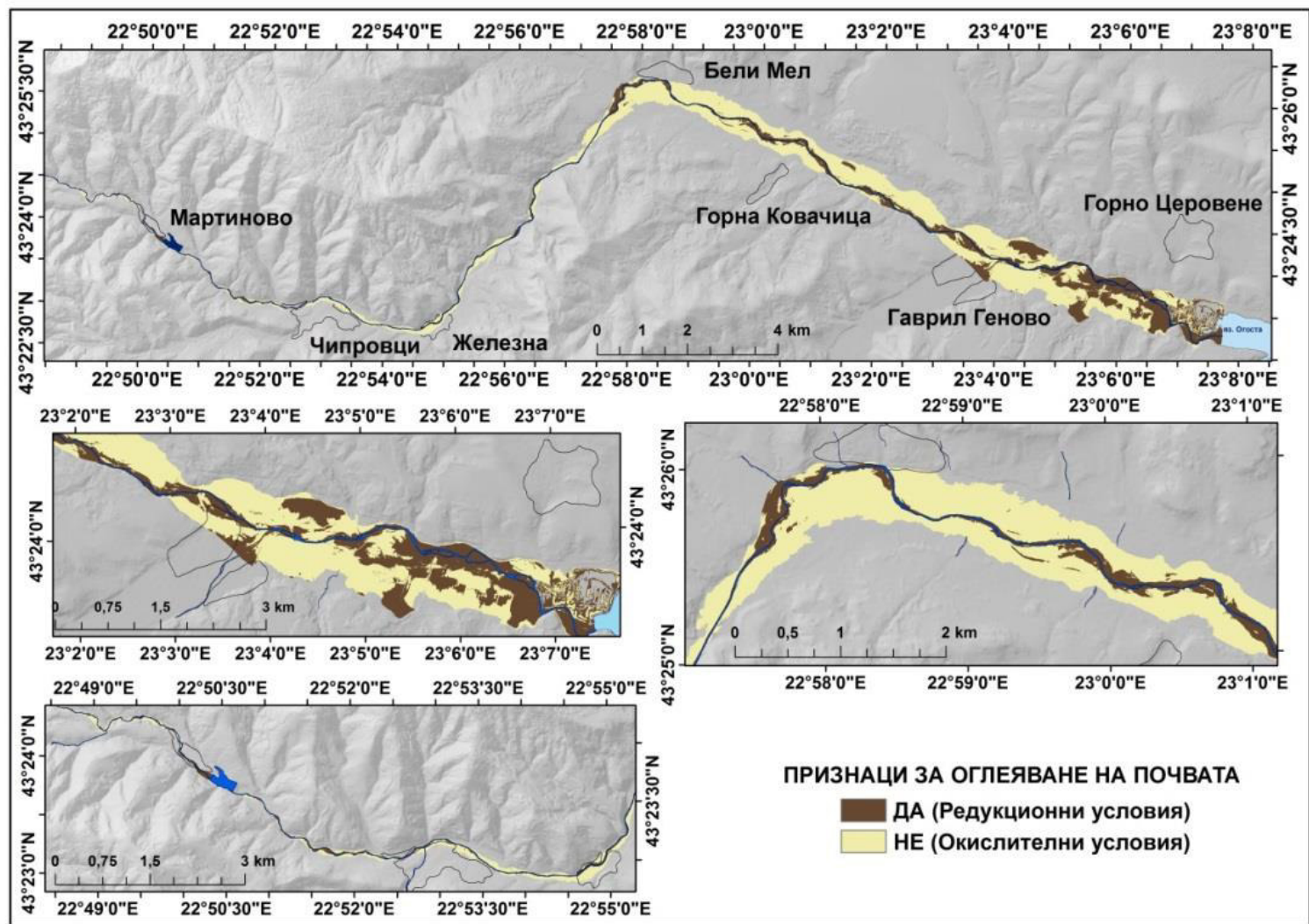
Фиг. 54. Оценка на дебелина на почвената покривка в заливната тераса на р. Огоста



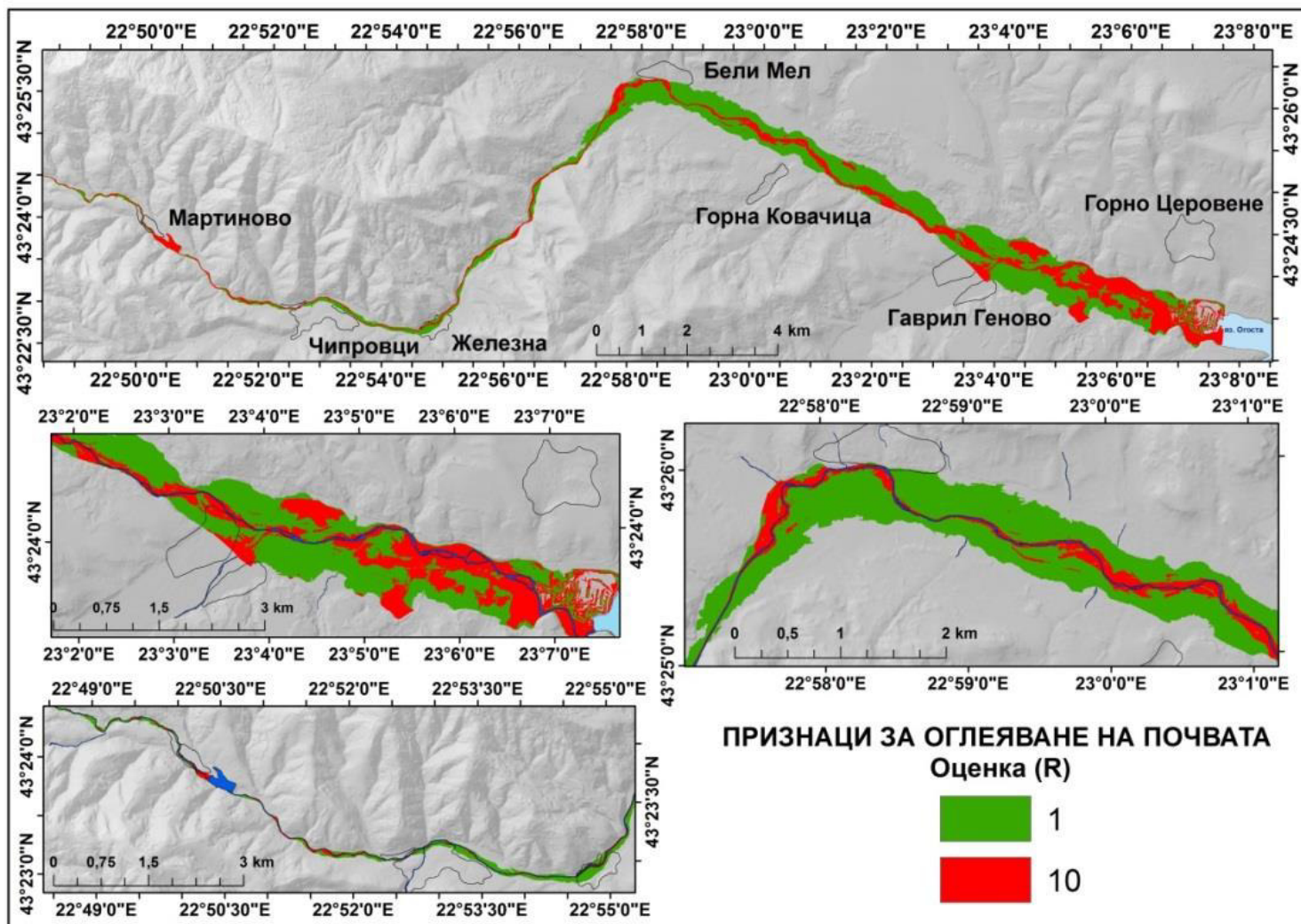
Фиг. 59. Съдържание на физическа глина - % в заливната тераса на р. Огоста



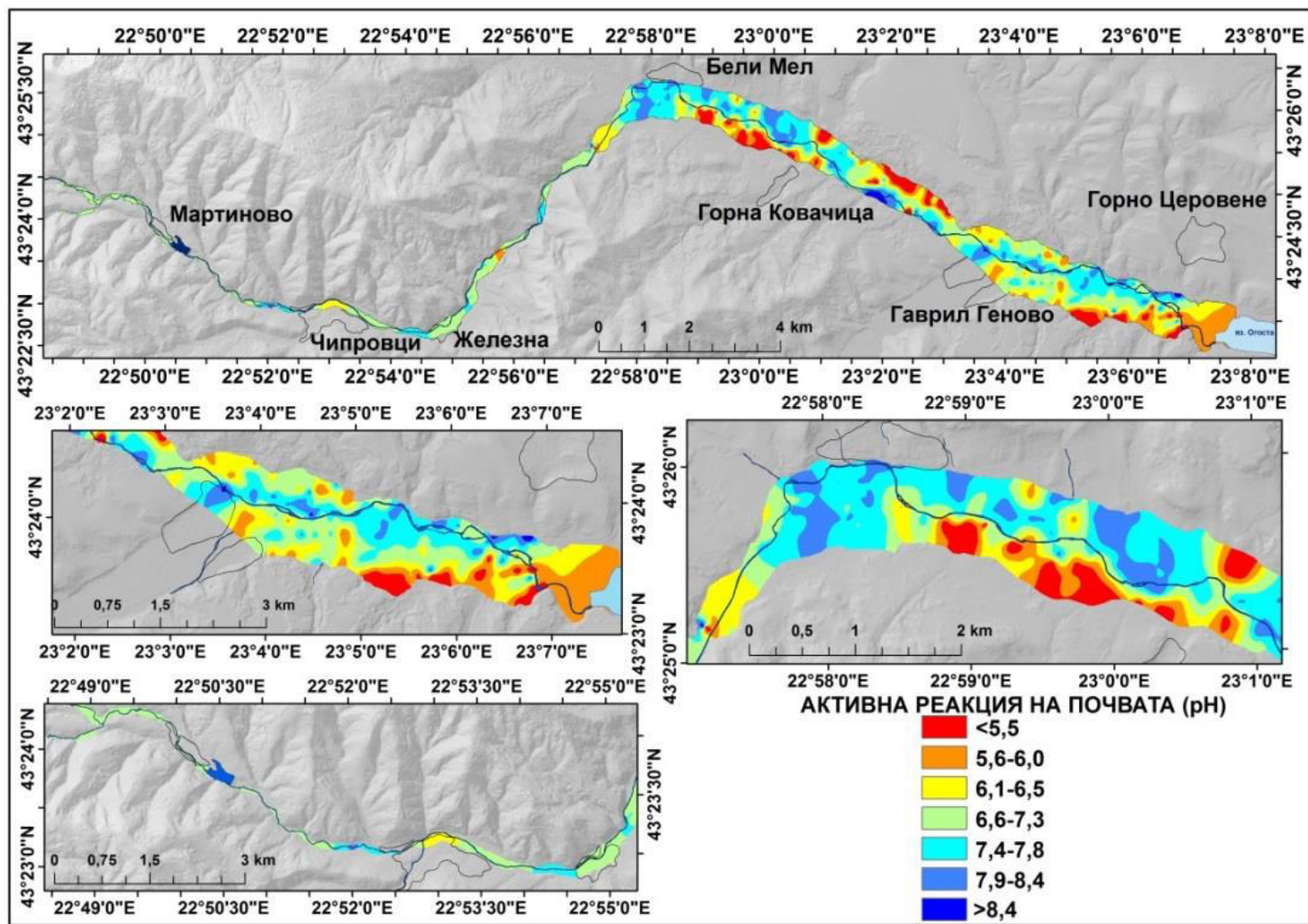
Фиг. 60. Оценка на съдържанието на физическа глина - % в заливната тераса на р. Огоста



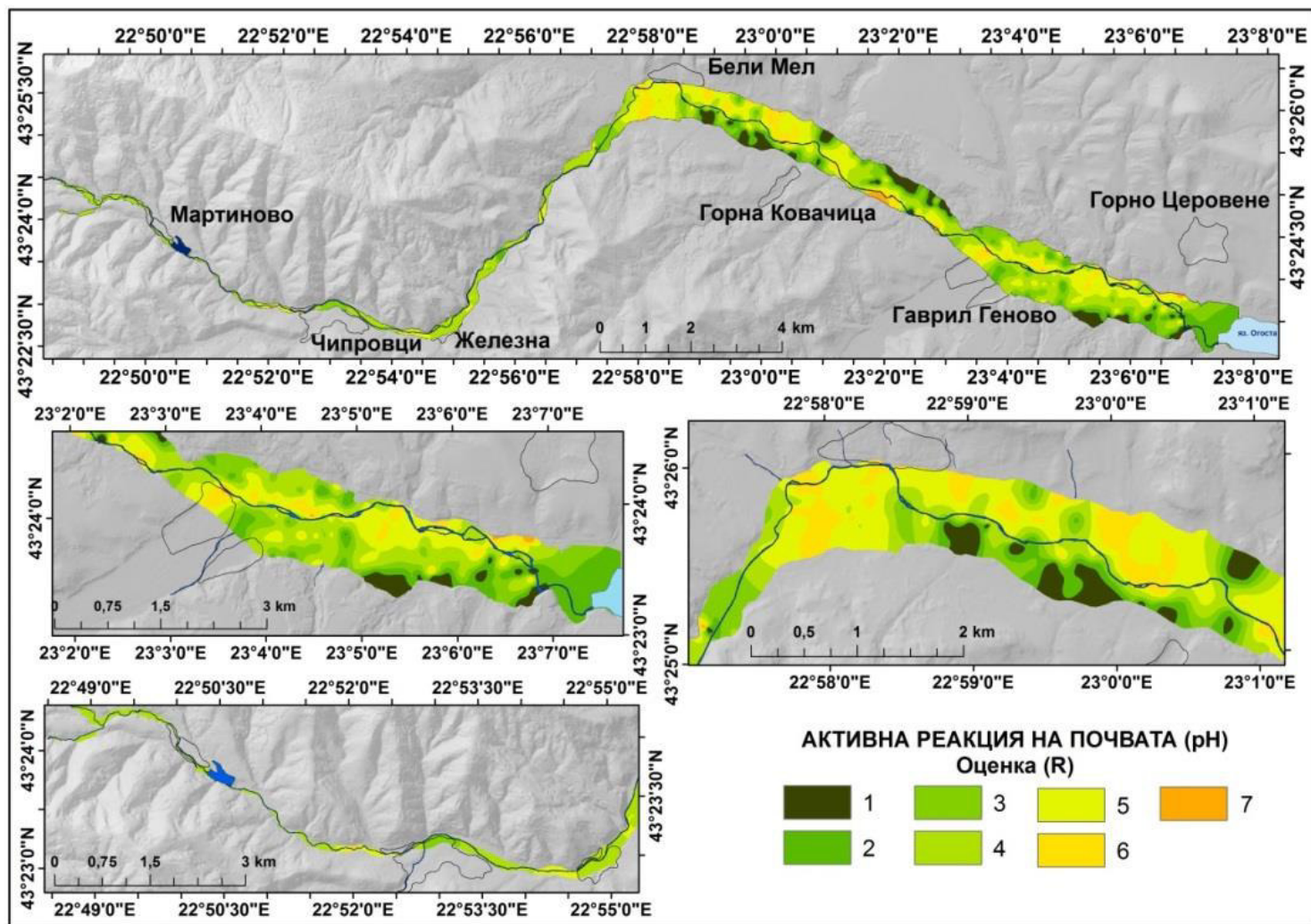
Фиг. 61 Признаци за оглеяване на почвата в заливната тераса на р. Огоста



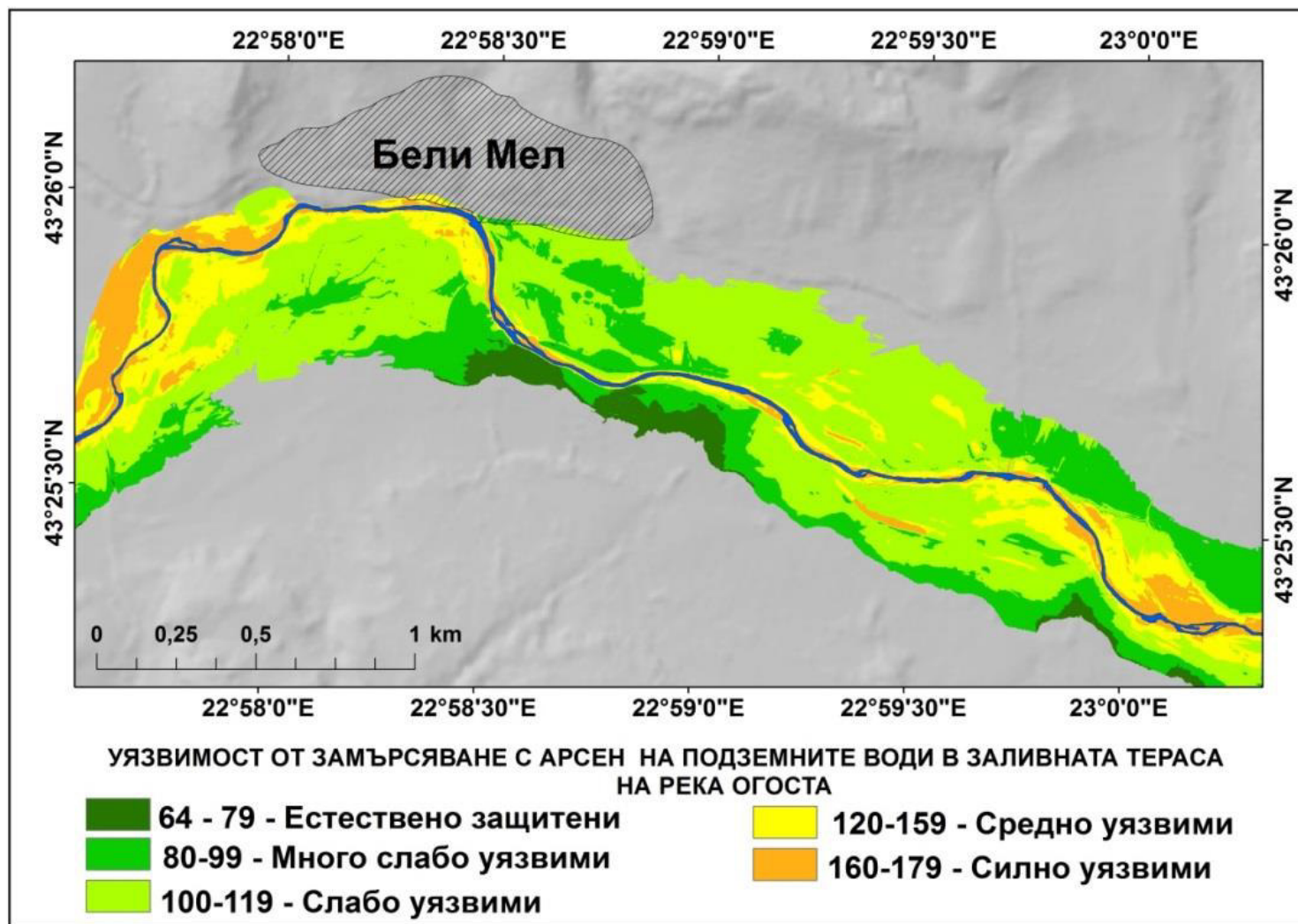
Фиг. 62 Признаци за оглеяване на почвата в заливната тераса на р. Огоста



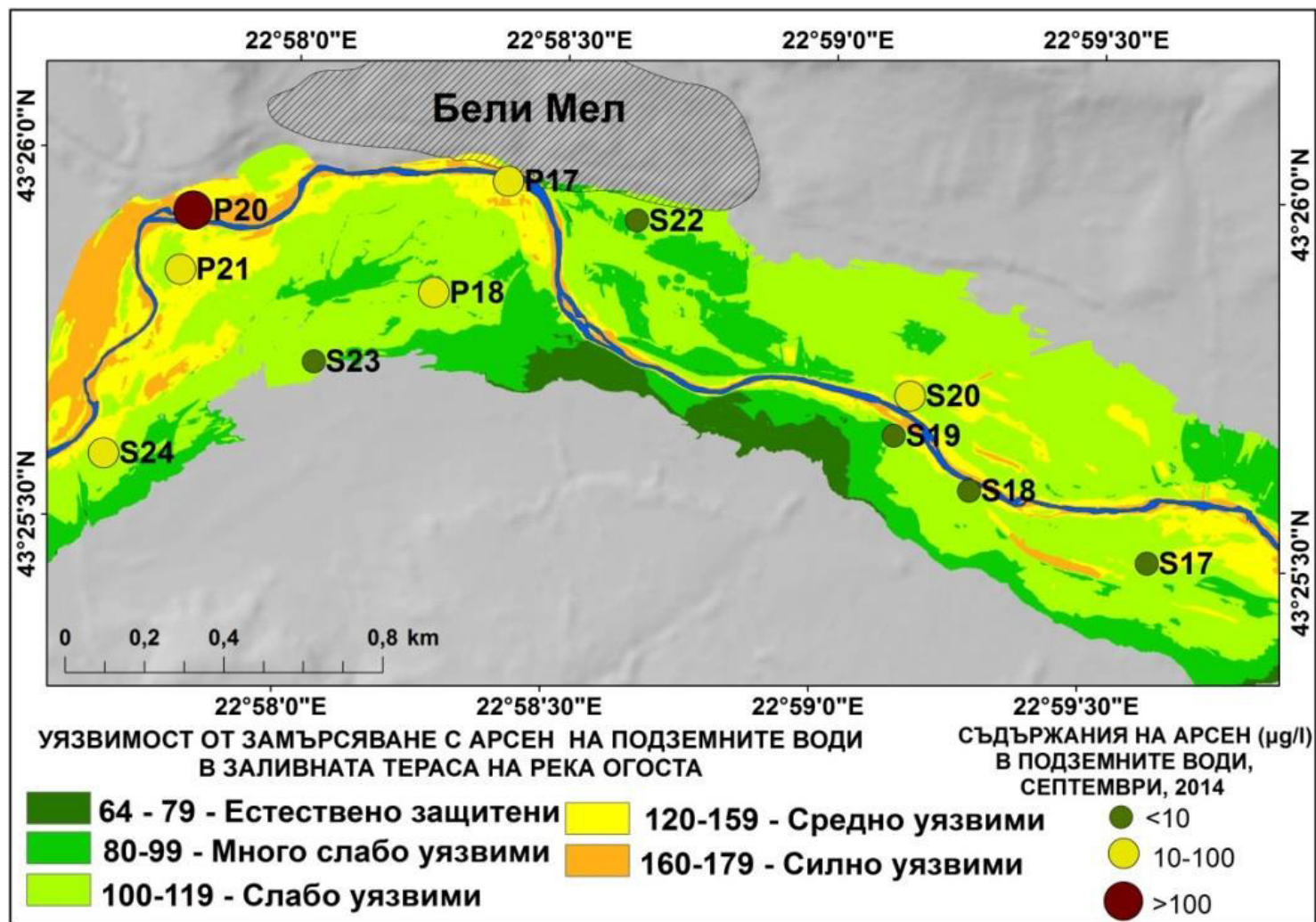
Фиг. 65 Активна реакция (pH) на почвата в заливната тераса на р. Огоста



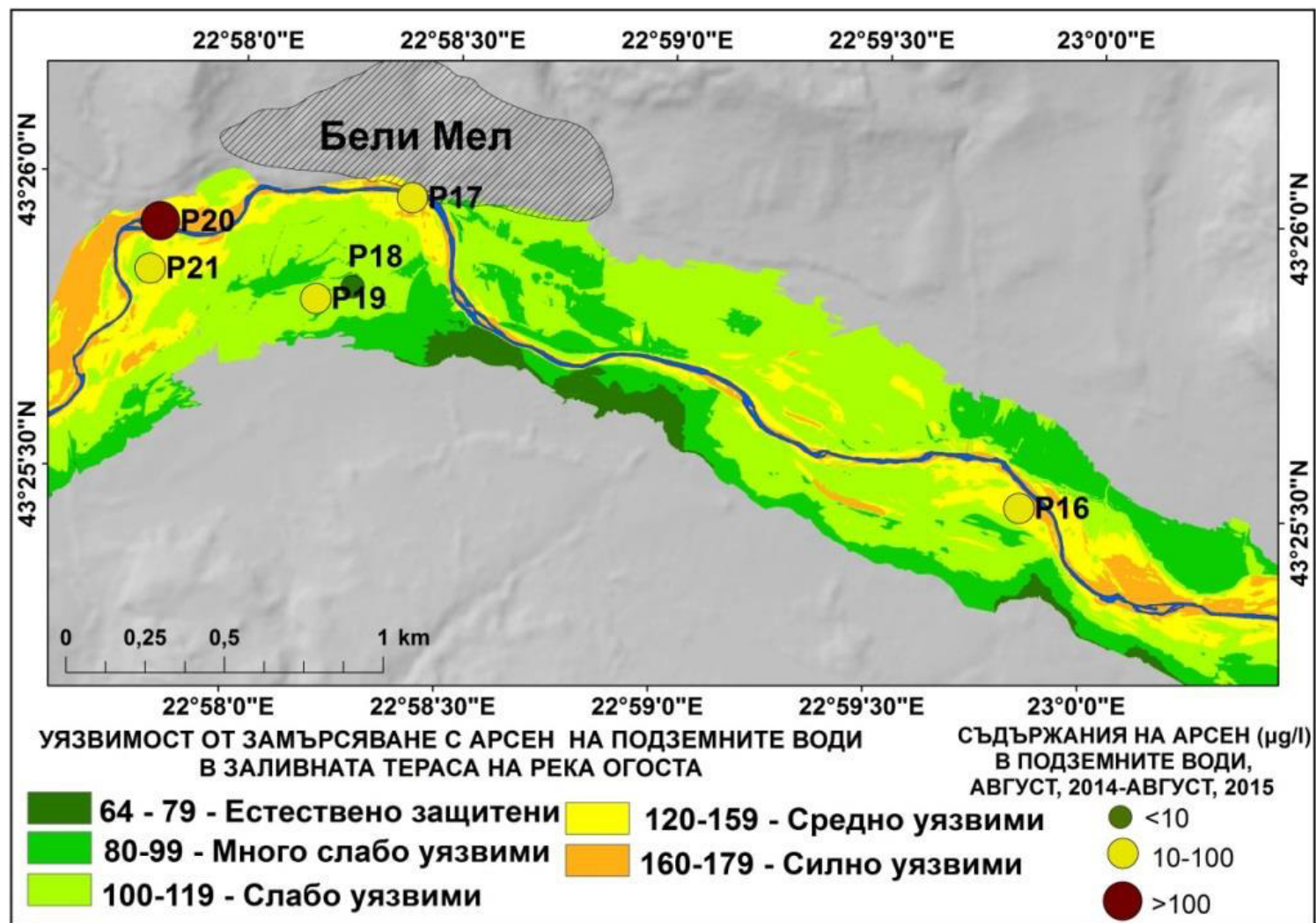
Фиг. 66 Оценка на активната реакция (pH) на почвата в заливната тераса на р. Огоста



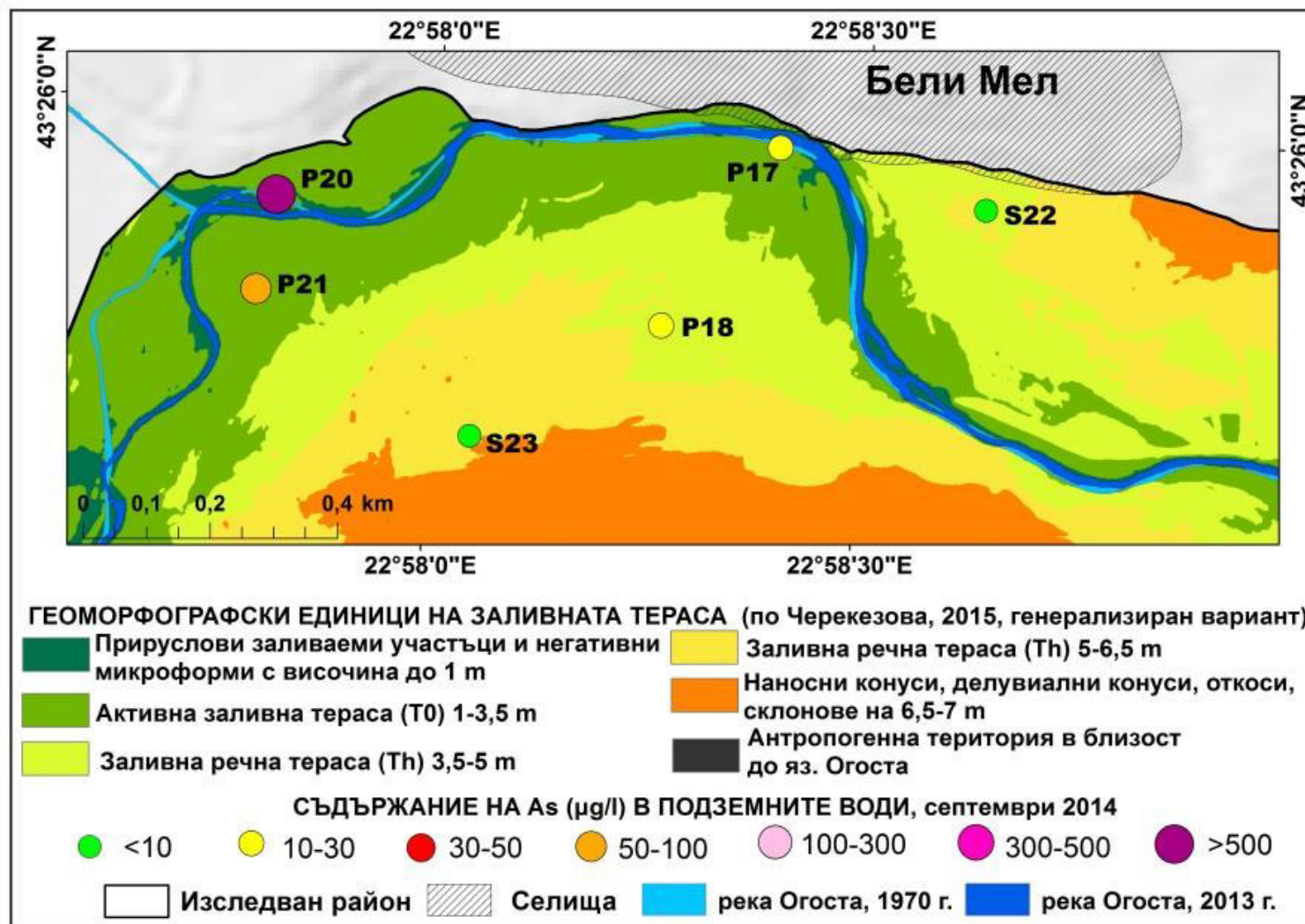
Фиг. 68а. Карта на уязвимостта на подземните води в заливната тераса на р. Огоста



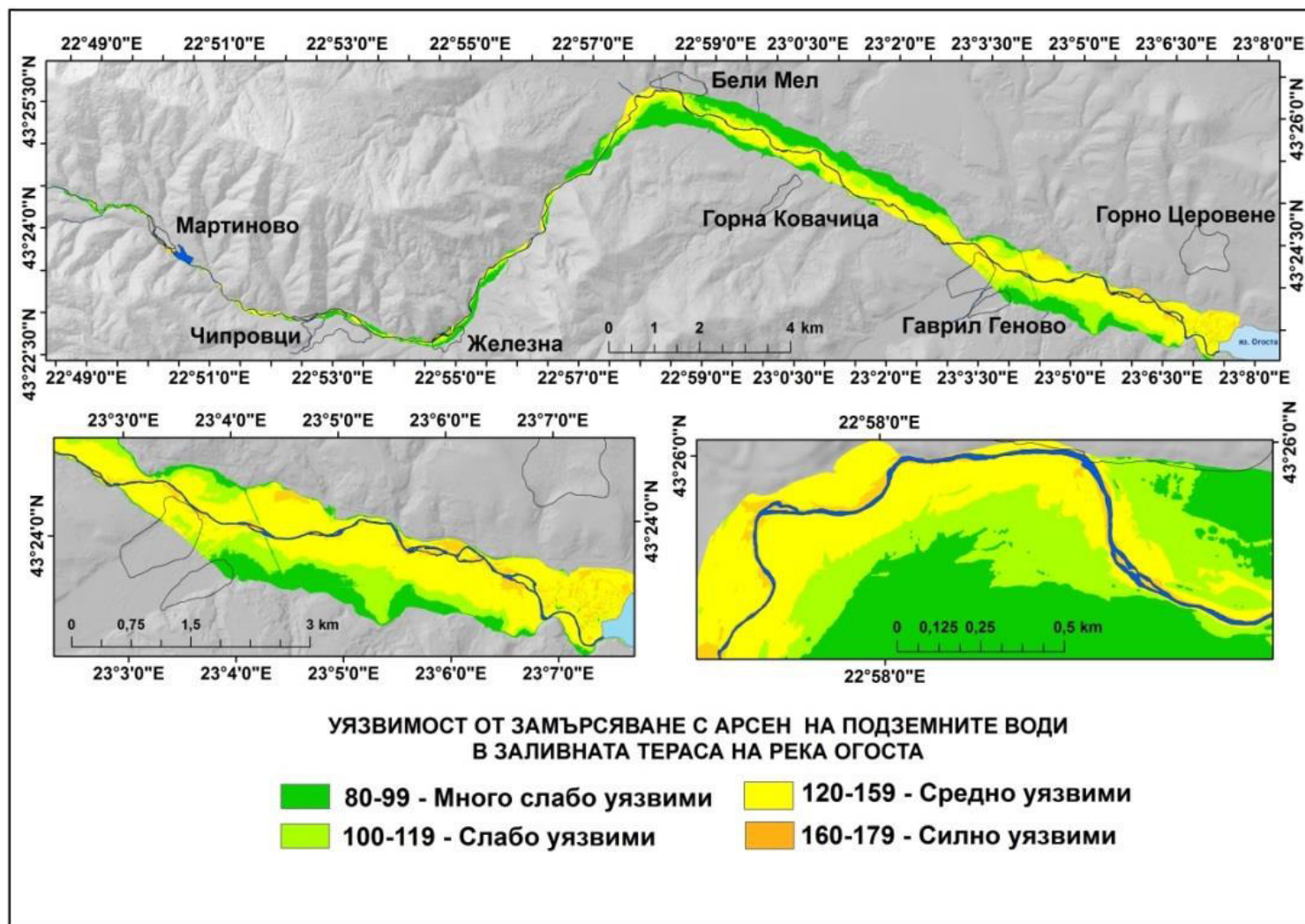
Фиг. 71в. Верификация на индекс метода DRESPI с данни за съдържанията на арсен в подземните води за месец септември, 2014



Фиг. 72в Верификация на индекс метода DRESPI с данни за съдържанията на арсен в подземните води за периода август 2014 – август 2015



Фиг. 76в Съдържание на арсен ($\mu\text{g/l}$) в подземните води, септември 2014 г.



Фиг. 77 Райониране на територията по степен на уязвимост