

ЮГОЗАПАДЕН УНИВЕРСИТЕТ "НЕОФИТ РИЛСКИ"



ПРИРОДО-МАТЕМАТИЧЕСКИ ФАКУЛТЕТ
КАТЕДРА „ГЕОГРАФИЯ, ЕКОЛОГИЯ И ОПАЗВАНЕ НА ОКОЛНАТА СРЕДА“

РАЛИЦА ВЕНЕЛИНОВА ЦЕКОВА

СЪОБЩЕСТВАТА ОТ ЗЕМНИ ЧЕРВЕИ (СЕМ. LUMBRICIDAE) В ПОВЛИЯНИ ОТ
УРАНОДОБИВА ЕКОСИСТЕМИ В БЪЛГАРИЯ

АВТОРЕФЕРАТ

На дисертация за присъждане на образователната и научна степен

“доктор“

докторска програма „Екология и опазване на околната среда“

професионално направление – 4.4. Науки за земята

НАУЧЕН РЪКОВОДИТЕЛ: Доц. д-р Лидия Георгиева Сакелариева

Благоевград, 2021 година

Дисертацията е разработена в рамките на свободна докторантура в катедра „География, екология и опазване на околната среда“ при Природо-математически факултет на ЮЗУ „Неофит Рилски“ – Благоевград.

Дисертационният труд е с общ обем от 140 страници и съдържа 10 основни раздела, включително 13 таблици, 58 фигури и 1 приложение. Списъкът на цитираната литература съдържа 270 заглавия, от които 16 на кирилица и 254 на латиница (включително 2 интернет източника).

I. ВЪВЕДЕНИЕ

Почвата е една от средите на живот за значителна част от организмите на Земята. Типът почва и характеристиките ѝ определят разнообразието от почвени обитатели. Едафобионтите са движеща сила в кръговрата на веществата и имат определящо значение за протичането на процесите в почвата, като влияят и регулират нейния въздушен и воден режим, структура, физични свойства, химичен състав. Една значителна част от почвените организми (около 12 %) са представители на земните червеи (сем. Lumbricidae, Criodrilidae) и съответно тяхната роля във функционирането на почвените екосистеми е съществена. Те участват в преобразуването и минерализацията на органичната материя, при формирането на хумуса и структурата на почвата, като осигуряват поддържане на почвеното плодородие. В резултат на последните изследвания върху групата (2018) броят на видовете земни червеи в България наброява 50, въпреки, че остава динамичен. Този брой е нисък в сравнение със съседните балкански страни. Все още биоразнообразието на земните червеи в България е недостатъчно проучено, въпреки усилията през последните години. Седемнадесет или 34% от българските лумбрициди принадлежат към peregrinните видове. Ендемичните видове са 13 (26%), от които балкански ендемити са 9 (18%), а български - 4 (8%).

Неправилната експлоатация и непрекъснато нарастващото замърсяване в почвата намаляват постепенно плодородието и променят характеристиките ѝ. При натрупване на токсични вещества, химичният състав на почвата се променя и се нарушава естествената среда на живот и развитие на организмите. Замърсяването на почвите е една от трите основни заплахи за почвената деградация, заедно с ерозията на почвите и загубата на почвено органично вещество. С цел подобряване и предотврътяване на по-нататъшното влошаване на състоянието на почвената покривка е необходимо определяне на екологичното ѝ състояние и качество.

Безгръбначните обитатели на почвата, се считат за добри индикатори за състоянието ѝ, а лумбрицидите са сред най-често използваните геобионти. Те могат да бъдат намерени почти във всички почвени местообитания, въпреки чувствителността им към различни естествени промени в екологичните фактори и към антропогенни въздействия, включително замърсяване. Групата може да бъде използвана за оценка на качеството на почвата, като добър биоиндикатор

на почвено-климатичните условия, както и индикатор за установяване на степента на антропогенно повлияване и замърсяване в даден район.

Успешното използване на съобществата от земни червеи като индикатори за качеството и състоянието на почвите е възможно само при наличие на достатъчен обем информация за тяхната видова и функционална структура в различните по тип местообитания. Това подчертава необходимостта от провеждането на допълнителни проучвания, особено на регионално и национално ниво, а също така изтъква значимостта на настоящото изследване. Важната роля на видовете земни червеи като акумулативни биоиндикатори в замърсени с тежки метали почви е доказана главно в лабораторни условия. Публикувани са данни за последиците от уранодобива в България, в районите на вече ликвидирани находища (Елешница, Сенокос, Бухово и др.), но те отчитат предимно съдържанието на тежки метали и радионуклиди в почвите, растителните и бактериалните съобщества и състоянието на водите в засегнатите реки около мините. Изследвания на лумбрицидите и възможността да бъдат използвани за нуждите на биологичния мониторинг в повлияни от уранодобива райони в България не са провеждани.

Дисертацията е изградена върху работната хипотеза, че антропогенната (уранодобивна) дейност води до физични и химични промени в почвената среда, а от там и до въздействие върху различните видове почвени организми и съобщества, обитаващи повлияните места. Биологичният отговор на индивидите, популациите и съобществата към тези промени може да се използва като индикатор за оценка на качеството и екологичното състояние на почвата.

II. ЦЕЛ И ЗАДАЧИ

Целта на настоящото проучване е да се установи разнообразието на лумбрицидите в повлияни от уранодобивната дейност екосистеми в България и тяхната пригодност да служат като биологични индикатори за определяне състоянието на почвите.

За осъществяването на целта са проведени изследвания в пробни и контролни пунктове в районите на следните уранови находища в България - находище в село Елешница, уранова мина „Сенокос“ (село Сенокос), мини „Бухово“ (хвостохранилища Бухово и щолна 82 - Сеславци) и уранова минна област „Искра“, село Кътина, като са поставени следните основни задачи:

1. Анализ на основни параметри на почвата в изследваните пунктове – механичен състав, температура, почвена влага, активна реакция, количество на органичното вещество.
2. Определяне съдържанието на тежки метали в почвените проби.
3. Анализ на видовата структура на съобществата от земни червеи в изследваните уранови находища:
 - таксономичен състав, брой и честота на срещане на видовете лумбрициди;
 - сходство на видовия състав;
 - обща численост на лумбрицидните съобществата и обилие на половозрелите и неполовозрелите индивиди
 - индекси за видово разнообразие.

Определяне съдържанието на тежки метали в тъканите на земни червеи.

III. ЛИТЕРАТУРЕН ОБЗОР

В главата е представена обща характеристика на сем. Lumbricidae. Описани са преференциите на семейството към факторите на средата, както и възможностите на групата като индикатори за състоянието на почвите. Представена е и историята на уранодобивната дейност в България.

Разпространението на земните червеи до голяма степен се влияе от климатичните особености и растителната покривка на дадено местообитание. Първостепенни фактори за биоразнообразието и биомасата им са характеристиките на почвата като: влажност, температура, рН, органично вещество, механичен състав, дълбочина на почвения профил, екологични взаимоотношения (хищник, паразит) и др.

Земните червеи са подходящи индикатори за оценка на състоянието на почвите, тъй като те са: много важна част от почвената фауна (12 % от почвените организми); разграждат значителна част от мъртвата органична материя и влияят върху структурата на почвата; поемат големи количества листна маса или почва (поради неефективния им метаболизъм) и по този начин влизат в контакт с голяма

част от веществата в почвата; обитават и горните почвени слоеве, и така “интегрират” токсичното въздействие в почвения профил.

Лумбрицидите успешно се налагат и в биомониторингови изследвания за наличие на тежки метали в почвите. Земните червеи стоят в началото на хранителните вериги в почвата и могат активно да участват в прехвърлянето на хранителни вещества, съдържащи тежки метали, към следващите трофични нива (Kratz, 1994, Alberti et al., 1996; van Straalen et al., 2001). Връзката между земните червеи и тежките метали в почвите се основава на следните процесите на акумулация на тежки метали в тъканите на лумбрицидите (посредством органичните остатъци, които поемат по време на хранене) и промяна в концентрацията на метали в средата. Меките тъкани на червеите и начина им на хранене, позволяват проникване на тежките метали, както през кожата, така и през храносмилателния тракт (Eijsackers, 1998). Редица проучвания доказват намаляване на видовото разнообразие, плътността и биомасата на лумбрицидите, дължащи се на повишените концентрации на тежки метали и радионуклиди в почвата (Bengtsson & Tranvik, 1989; Spurgeon & Hopkin, 2000, Lukkari et al., 2004). В продължение на много години и до днес те са считани като интересни биоиндикатори за завишени концентрации на различни тежки метали и радионуклиди в почвите (Suthar et al., 2008).

IV. МАТЕРИАЛИ И МЕТОДИ

IV.1. Райони и периоди на проучване

Изследването е проведено в периода 2011 – 2016 година в 2 етапа. Първият етап включва проучвания в 3 пробни и един контролен пункт в района на урановото находище в село Елешница и в 4 пробни и един контролен пункт в района на уранова мина „Сенокос“ (село Сенокос), част от Родопския уранодобивен район в България. Проведени са общо 14 теренни експедиции през месеците май и октомври в целия период на изследване. През 2011 година пробовземането е извършено и през месеците март и август, но поради пренебрежимо ниския брой събрани екземпляри от сем. Lumbricidae и трудните условия на копане, изследването се фокусира само върху пробите взети през май и октомври. През втория етап, в периода 2015 – 2016 г., са добавени и проучени по един пробен и един контролен пункт в два района на мини „Бухово“

– в близост до град Бухово и квартал Сеславци, и в района на уранова минна област „Искра“ (село Кътина), част от Старопланинския уранодобивен район. Извършени са по 2 теренни експедиции през всяка от двете години (през месеците май и октомври) (Таб. 1).

Контролните пунктове се подбрани на места със същото изложение и тип растителност, на дистанция минимум 2 км от пробните такива. Координати на находищата в изследваните райони са измерени с помощта на GPS-апаратура на фирмата „GARMIN“, с точност 1-3 м.

Таб. 1. Пунктове и периоди на извършеното проучване

	Елешница				Сенокос					Бухово		Сеславци		Кътина	
	Sps 31	Sps 53	Sps WT	Sps BE	Sps 1	Sps 2	Sps 3	Sps 4	Sps 22	Sps MB	Sps BB	Sps MS	Sps BS	Sps МК	Sps BK
2011	x	x	x	x	x	x	x	x	x						
2012	x	x	x	x	x	x	x	x	x						
2013	x	x	x	x	x	x	x	x	x						
2014	x	x	x	x	x	x	x	x	x						
2015	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
2016	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

IV.2. Пробовземане, измерване и определяне на основни параметри на почвената среда

По време на изследването са измерени и/или определени някои основни показатели на почвата – механичен състав, температура, почвена влага, активна реакция, количество на органичното вещество на всички пробни пунктове, през всички изследвани месеци и години.

За установяване на почвените характеристики от пробните и контролните пунктове са взети почвени проби с обем около 500 гр. на дълбочина 10 см (Фиг. 7). Събрани са общо броя 40 проби – 14 от района на Елешница, 14 от района на Сенокос, 4 от Бухово, 4 от Сеславци и 4 от мина „Искра“ (Кътина). Пробите са маркирани и транспортирани при температура 4 °С. В лаборатория, пробите за анализ на текстурата на почвата са изсушени в рамките на 5 дни и пресяти през сито с отвори 2 мм. Механичният състав е определен по метода на *Bowman & Hutka (2002)*. Температурата на почвата е измерена на терен на дълбочина 10 см. Количеството на влагата е определено чрез изсушаване на почвата при температура 105°C за 24 часа. Количеството на органичното вещество е определено по метода на Тюрин, основаващ се на окисление с

калциев двухлорид (*Kaurichev, 1980*) и изгаряне на почвата при температура 550 °C за минимум 3 часа. Опитът е заложен в тигли с по 5 грама почва. Стойността на активната реакция (pH) във H₂O е измерена потенциометрично в суспензия почва: дестилирана вода = 1 : 5 чрез HANNA pH-метър.

Данни за количеството на валежите в района на пунктовете са набевени чрез метеорологичната платформа addVANTAGE Pro 6.6. За пунктовете в района около София (мини Бухово и „Искра“) е избран източник на данни в землището на село Войнеговци, а за пунктовете в района на Елешница и Сенокос – в землището на село Градево.

Анализите на почвените проби са извършени в лабораториите на Биологическия факултет към СУ „Св.Кл.Охридски“, както и в Института по почвознание, агротехнологии и растителна защита „Н.Пушкарров“. Всички анализи са проведени в по 3 повторения, като в дисертацията са представени осреднените стойности за целия период на изследването.

IV.3. Определяне съдържанието на тежки метали в почвата

Съдържанието на тежки метали (As, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn, U) е определяно в почвени проби, взети от Елешница и Сенокос през 2011 година. Изследвани са общо 9 проби. Те са поставяни в хартиени и полиетиленови пликосе и са транспортирани в хладилна чанта. Анализът е осъществен от лаборатория „Еколаб“ към „Диал“ ООД, Бухово – София. Използван е метод чрез опепеляване на почвата при 550 °C по *ISO 11047:1998*. Естественият уран е определен по *BVLM1: 2003*.

IV.4. Методи за пробовземане и обработка на земни червеи

Екземпляри от различните видове лумбрициди са събрани от всички пробни и контролни пунктове през целия период на изследване, през месеците май и октомври за всяка година.

Използван е метод по *ISO 23611-1:2006* стандарт. Екстракцията на земните червеи от почвените проби е извършена чрез изкопаване и ръчно събиране на екземплярите от почвени блокове с размери 25 x 25 см. Предвид вида на терена (силно песъчлив и скалист), на някои от участъците на пробовземане, размерите на блоковете са увеличени (40 x 40 x 40 см). Този метод дава най-добри резултати,

тъй като се изолират от 80 % до 100 % от червеите в почвената проба и не се унищожават други почвени организми.

Събрани и обработени са общо 40 проби. От всеки пункт са пробовзети по 5 проби, разположени шахматно, като материалът от всичките 5 е обединен. Екземплярите от всеки пункт са поставяни в колектори, етикетирани са и са транспортирани до лаборатория при температура 4 °C (в хладилна чанта). В лабораторията са преброени, като непополовозрелите са разделени от половозрелите. Събраните лумбрициди са почистени и фиксирани в 70 % етанол, и съхранени в 90 % етанол за последващо таксономично определяне. Полово зрелите земни червеи са определени в лабораториите на Софийския университет, Биологически факултет и в Университета по екология и биология в град Крагуйевац, Сърбия.

IV.5. Определяне на видовата структура на лумбрицидните съобщества

За да се определи видовата структура на една биоценоза е важно да бъдат установени както **видовият състав** и **броят на видовете** (таксоните) - **S**, така и количествените взаимоотношения, в които тези видове се намират.

Таксономичното определяне до род и вид на събраните екземпляри земни червеи е извършено от докторанта в лаборатория към катедра Екология и опазване на природната среда, Биологически факултет на Софийския университет „Св. Климент Охридски“ и в Университета по екология и биология в град Крагуйевац, Сърбия. Систематичният статус на видовете е определен според: *Blakemore (2008)*, *Mršić (1991)*, *Zicsi (1982)*, *Šapkarev (1978)* и *Csuzdi & Zicsi (2003)*. Използвани са морфологични (тип на простомиума; позиция и дължина на clitellum; позиция и вид на tubercula puberitas; брой сегменти; пигментация; разположение на четинките; позиция на мъжки и женски отвори и др.), екологични и зоогеографски критерии (дълбочина на откриване в почвения профил; вид на местообитание и др.). Видовото детерминиране е потвърдено от специалисти от Природо-математическия факултет, Университет по екология и биология в град Крагуйевац, Сърбия.

Определяни са следните показатели:

- ✓ **Честота на срещане (pF)** на отделните видове лумбрициди: $pF = m / n \%$ където **m** - брой проби, в които видът е установен; **n** – общ брой проби;

Видове със срещаемост по-голяма от 50% се приемат за постоянни, тези със срещаемост 25 – 50% - придружаващи, а със срещаемост по-малка от 25% - случайни (Степановских, 2001).

- ✓ **Индекс за сходство на видовия състав** на *Sørensen (1948)*: $QS = 2c/a+b \%$
където **c** е брой на общите за двете сравнявани проби видове, **a** – броят на видовете установени в едната проба **b** – броят на видовете, установени във втората проба таксони.

Индексът дава възможност да се определи сходството във видовия (таксономичния) състав на съобществата на всеки отделен пункт през различните месеци и години, както и между различните пунктове.

- ✓ **Относителна численост (N)** – броят екземпляри от всички видове на проба.
- ✓ **Обща численост** на полово зрелите (clitellates) и неполово зрелите (aclitellates) индивиди в съобществата.
- ✓ **Индекс за видово богатство** на *Margaleff (1958)*: $d = S - 1/\log_2 N$
където **N** е брой индивиди от всички видове (обща численост), а **S** – брой на видовете в пробата;

Индексът позволява да се сравняват едно съобщество или група от популации с други такива в случаите, в които е определено, че **S** е линейна функция от логаритъма на **N**.

- ✓ **Индекс на доминиране в съобществото** на *Simpson (1949)*: $c = \sum (ni/N)^2$
където **ni** е брой на индивидите от всеки **i** вид, а **N** - брой на индивидите от всички видове (обща численост);

Индексът се повлиява значително от видовете с по-голяма значимост (численост) в съобществото и изразява степента, до която доминирането е концентрирано в един, няколко (клони към максималната си стойност - 1) или в много видове в съобществото (клони към минимума си).

- ✓ **Индекс на изравненост в съобществото** на *Pielou (1966)*: $e = H' / \log_2 (S)$
където **H'** е индекс за видово разнообразие, а **S** – брой на видовете в пробата;

Индексът изразява равномерността (клони към максималната си стойност 1) или неравномерността (клони към минималната си стойност) в разпределението на индивидите сред видовете в съобществото.

- ✓ **Индекс за разнообразие на Shannon & Weaver (1963)**: $H' = \sum (ni/N) \log_2 (ni/N)$

където ni е брой на индивидите от всеки i вид, а N - броят на индивидите от всички видове (обща численост); Стойността на този индекс (теоритичен максимум 5) се повлиява значително от видовете с по-малка значимост (в случая численост) в съобществото и е един от най-добрите показатели при сравняването на съобществата, особено когато не се интересуваме от отделните компоненти на разнообразието.

IV.6. Методи за определяне съдържанието на тежки метали в тъканите на земните червеи

Проведени са анализи за определяне акумулацията на тежки метали и (Cs, Ra, Pb и U) в тъканите на земните червеи, събрани от пунктовете в района на мина „Сенокос“ през 2010 година (общо 5 проби).

На терен земните червеи са поставяни в хартиени пликове с почва (Фиг. 8) и транспортирани в хладилна чанта до лаборатория. Там са почистени и оставяни във влажна среда на ниска температура в продължение на 48 часа за очистване на вътрешното съдържимо. Анализите са извършени от лаборатория “Еколаб” към “Диал” ООД, Бухово - София. Съдържанието на тежките метали е определено, като материалът предварително е изсушен при температура 105°C по БДС EN IEC 61452:2008.

IV.7. Методи за статистическа обработка, анализ на информацията и визуализиране

Извършен е клъстер анализ (метод на *Bray-Curtis, Primer 6*), за да се демонстрира сходството на видовия състав между изследваните обекти. PCA (Principal component analysis) е приложен чрез програмата Canoco 5 (*ter Braak & Šmilauer, 2002*), за да се илюстрира въздействието на значимите фактори на околната среда.

Първичната обработка на събраната информация и представянето ѝ в табличен и графичен вид, както и изчисляването на индексите за разнообразие са извършени с програмата Microsoft Excel 2010 година. За визуализацията (карти на пунктовете е използван Google Maps и софтуер за графична обработка Adobe Photoshop

Проучванията, направени върху урановите находища в района на Сенокос (Фиг. 9) и Елешница са част от Проект № ДО 12-131/15.12.2008 година на тема:

“Биологична оценка на последствията от уранодобива в района на находище Сенокос: модел за биологичен мониторинг на територии, повлияни от уранодобив”, финансиран от фонд „Научни изследвания” към Министерството на образуванието и науката, с ръководител доц. д-р Валентин Богоев, СУ „Св.Климент Охридски“. Основната научна цел на проекта е да се направи анализ на въздействието от замърсяването с уран и тежки метали както върху местообитанията, така и върху биотата в района на закритата мина „Сенокос“. В дисертацията се представени резултатите от дейностите по проекта, отнасящи се до изследванията на съобщества от почвени земни червеи (сем. Lumbricidae) в антропогенно повлияни от уранодобива райони.

V. РЕЗУЛТАТИ И ОБСЪЖДАНЕ

VI.1. Физико-химични изследвания на почвата

VI.1.1. Механичен състав

Изследванията показват, че според механичния състав, почвите от района на Елешница са пясъчливи (30 % глинести частици), а от района на Сенокос – пясъчливо-глинести (40-45 % глинести частици).

В резултат на проведените анализи, почвите, както в района на мина Бухово, така и на контролния пункт са класифицирани като глинести (>45 % глинести частици), а тези от района на минните и контролните участъци на Сеславци и Кътина, като глинести до пясъчливи почви (35-45 %).

Според Арсов (1994), типичният почвен тип за района на мините от Родопския уранодобивен район е кафявата горска, светла, силно ерозирана почва. Среща се още излужена канелена горска почва, както и алувиално-ливадни по поречието на реките. Почвите от района на Старопланинските находища също се класифицират като кафяви горски почви (*Eutric Cambisols*, FAO, 2006). По механичен състав тези почви са леки, най-често глинесто-пясъчливи. Имат пластов строеж и много слабо оформени хумусен хоризонт и почвен профил, чиято мощност варира от 15-20 до 70-80 см (Арсов, 1994).

В резултат от масовото обезлесяване на района около минните участъци в миналото и развитата в последствие силна ерозия (както водна, така и ветрова), прави впечатление, че кафявите горски почви са със силно променен хабитус и

свойства. Те са силно ерозирани и слабо до силно каменисти. Почвеният им профил е в рамките на 15 до 30 см, а хумусният хоризонт е слабо изразен.

VI.1.2. Температура

Температурата на почвата в районите на мини Елешница и Сенокос варира в диапазона от 10 °С до 16 °С. Средните температури и през май и през октомври са приблизително равни, съответно 12,9 °С и 12,7 °С (Елешница и Сенокос). Най-ниските (10 °С), са измерени през октомври 2014 и 2016 година на територията на контролен пункт Елешница, през май и октомври 2013 година – контролен пункт Сенокос, и през октомври 2016 година - мина Сенокос. Най-високите (16 °С) са измерени през октомври 2013 и 2014 година на територията на мина Елешница, през октомври 2011 – мина Сенокос, и през октомври 2015 на територията на контролен пункт Сенокос.

Данните са в границите на нормалните стойности за съответния сезон, локация, надморска височина и различна засенченост.

Средната стойност на температурата на почвата през месеците май и октомври 2015 – 2016 година на мините от Софийско поле е 12,9 °С, като варира от 11,15 °С до 15,7 °С. И в двете години през май месец са измерени по-високи температури със средна стойност 12,4 °С. Средната температура през октомври (2015 и 2016 година) е 11,2 °С. Минималната стойност е регистрирана през октомври 2016 година – 10,12 °С на контролния пункт на Бухово, а максималната стойност е отчетена през май 2016 година – 13,05 °С, на територията на мина „Искра“.

VI.1.3. Почвена влага

Стойностите на почвената влага в района на Елешница варират между 10 % (на територията на мината, 2012 година) и 24% (на контролния пункт, 2014 година). Почти във всички случаи (10 от 12) почвентата влага е по-голяма в контролния пункт (Фиг. 28). Диапазонът на колебание на фактора е в по-тесни граници в района на Сенокос – от 10% (на територията на мината, 2013 година) до 21,5 % (2015 година в контролния пункт). Прави впечатление, че в периода 2014 – 2016 година почвената влага е по-висока в районите и на двете мини.

Стойностите на почвената влага в районите на Бухово и Сеславци са в интервала между 17 % и 27 %. Има голяма разлика между съдържанието на влага

в почвата от района на мина „Искра“ и съответния ѝ контролен пункт с минимални и максимални стойности съответно 12,11 % (октомври 2016 година на територията на мината) и 42,75 % (октомври 2015 година в контролния пункт). Като цяло, съдържанието на влага в почвите на контролния пункт до село Кътина е много по-високо в сравнение с всички други изследвани места. Това може би се дължи на пространствените особености на терена.

Сумата от годишните стойности на количеството валежи (2011-2016 година), както и сумата от тези паднали през май и октомври в землищата на селата Войнеговци и Градево, показват, че най-голямо количество валежи е регистрирано за календарната 2014 година, а най-малко – за 2016 година. С много високата годишна сума на валежите през 2014 година могат да се обяснят и високите стойности на почвената влага на пробните и контролните пунктове в района на Елешница и Сенокос. Резултатите показват, че като цяло количеството валежи през месец октомври е по-високо, като изключение прави 2014 година – Градево и 2016 година. Най-високи са стойностите на валежите през месец май 2014 година в района на Градево, а най-ниски, едва 15 мм, през месец октомври 2016 година – Градево.

VI.1.4. Активна реакция (pH)

Стойностите на активната реакция се колебаят от 5,7 до 7,47. В отделни случаи сравнително по-ниските стойности на pH, отчетени през пролетта (май месец) се дължат на дъждовно-снежното подхранване на почвата. Според *Mesner & Geiger (2005)* активната реакция на незамърсения дъжд и сняг е между 5 и 6. Според авторите при бързото топене на снеговете е възможно оттокът да не се филтрира през почвата, поради което тя не може да буферира снежната вода, като това понижава стойностите ѝ на pH. Активната реакция зависи също и от вида на скалите и степента на органичната материя в почвата.

Почвите в пунктовете в районите на Елешница и Сенокос са с леко кисели (5,7) до близки до неутралните (7,4) стойности на активната реакция. Наблюдава се понижаване на стойностите на pH на територията на мините само за пунктовете в района на Елешница. Средните стойности на pH на територията на мината са 6,7, а на контролния пункт - 7,1. Сравнително по-ниски стойности са установени на територията на мина Сенокос. Средните стойности на pH там са 6,5, а на контролния пункт - 6,7.

Стойностите на активната реакция на пробите от Софийско поле варират в по-тесни граници – от 6,7 (мина Бухово, октомври 2016 година) до 7,47 (контролен пункт Кътина, май 2015 година). Почвите от територията на Бухово (мина и контрола) са слабо кисели със средни стойности 6,9 за контролната площадка и 6,84 за територията на мината. На територията на Сеславци (мина и контрола) са измерени леко алкални стойности на рН от 7,07 (октомври 2016 година) до 7,23 (октомври 2015 година). Неутрални или много близки до неутрални (7 – 7,1) стойности на рН са измерени на територията на Кътина, с изключение на контролния пункт през 2015 година (май и октомври). В пробните пунктове на териториите на мините се наблюдава тенденция към понижаване на рН от май 2015 към октомври 2016 година.

VI.1.5. Органична материя

На територията на Елешница са отчетени по-високи средни стойности на количеството на органичната материя – от 4,3 % на пробните площадки до 6,3 % в контролния пункт. На територията на Сенокос са установени най-ниските (0,4% на пробните пунктове през м. октомври 2011 година) и най-високите стойности (9% на контролния пункт през май 2011 и октомври 2016 година) за съдържание на ОМ в почвените проби. Средните стойности се колебаят в граници от 2,6 % на територията на мината до 6,7 % в контролния пункт. Мероприятията върху горния почвен слой, свързани с минната дейност, често водят до намаляване съдържанието на ОМ в почвите. Възстановяването на растителността с местни (естествени) видове е най-успешната практика за подобряване качеството на почвата. Компроментираните на места дейности по рекултивация, вероятно са й причина за ниските нива на ОМ в почвите от района на мините.

Сред изследваните мини от Софийското поле, най-ниското съдържание на ОМ в почвените проби е установено на територията на мина Бухово – само 1,8 % средно, като най-ниските отчетени стойности за ОМ са през май 2015 година – 1,1 %.

Контролният пункт на мина Искра е с най-високо съдържание на ОМ – средно 5,7 %, като най-висока стойност е отчетена през октомври 2016 година – 6,5 %. Локацията се намира между сорбционната колона на мината и река Тайна, като най-вероятно там има натрупани фини материали с подходящо съдържание на органични вещества, които създават добри условия за живот на

земните червеи. Съдържанието на ОМ в контролния пункт на Бухово, както и на територията на мини Сеславци и Искра, варира между 3,3 % и 3,6 %. Стойностите за ОМ от контролните участъци на Сеславци и Кътина варират съответно между 5,2 % и 5,7 %. Като цяло, съдържанието на органика в пробните площадки е по-ниско от това в контролните.

VI.2. Съдържание на тежки метали в почвата

Резултатите от изследване съдържанието на тежки метали в почвите, показват, че основните замърсители в районите на пробовземане са Cd, Cu, Zn, U, Pb, As (Таб. 7). В действителност, нивата на замърсяване са може би, по-високи, ако се вземат предвид концентрациите на Mn и Co, които не са включени в изчислението на TCCsum, поради липсата на стойности за тези елементи в българското законодателство (Наредба 3/2008). Единствено концентрациите на Cr и Ni не надвишават фоновите такива на всички пунктове.

Пунктове SPS 22 (Сенокос) и SPS BE (Елешница) са избрани за контролни точки, но по отношение на стойността на U и съдържанието на Cd, и Zn се оказва, че са повлияни от замърсяването в района, в резултат от уранодобива. Пунктовете се намират в обработваемите земеделски земи над селата, разположени в близост до мините, а източникът на замърсяване, най-вероятно, е натоварената с U и тежки метали подпочвена вода или в резултат на ерозия настъпила при експлоатация на мините, при която големи количества повърхностен почвен слой са били разпръснати в околните на мините райони. Публикувани в-литераурата данни (Boteva et al., 2015) потвърждават, че почвите от изследваните райони са хетерогенно натоварени (от леко до умерено ниво на замърсяване) с U и НМ.

Таб. 7. Съдържание на тежки метали в почвените проби от Елешница и Сенокос през 2011 година.

Параметър	Пунктове								
	Sps 1p	Sps 2	Sps 3	Sps 4	Sps 22	Sps31	Sps53	SpsWT	SpsBE
As (mg/g)	3	<1,5	<1,5	3,5	3,6	5,9	6,2	2,7	<1,5
Cd (mg/g)	2	1	8,9	4,4	0,8	0,4	0,5	1,3	0,5
Co (mg/g)	4,5	4,8	8,8	5,6	5,9	3,5	2,3	3,5	3
Cr (mg/g)	15,5	13,8	27,2	16,6	11,4	5	6,8	11,2	8,5
Cu (mg/g)	55	14,4	107	68,6	23,3	6,8	9,2	244	36,6

Mn (mg/g)	555	345	1023	578	385	297	354	246	444
Ni (mg/g)	12	10,7	23,7	12,3	8,3	6,6	22,8	6,2	9
Pb (mg/g)	11	9,9	31,5	11,5	14	1,8	8,9	3,1	7,5
Zn (mg/g)	400	101	705	444	75,9	49,1	85,2	91,8	74,8
U (mg/g)	25	14	29,5	27	15,7	9,8	13,6	36,6	16,4

	As	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn	U	TCCsum
BC	3.84	0.15	ND	51	47.34	ND	36.41	19.19	54.98	0.3-11*	
IC	90	12		550	500		300	500	900		

Стойност над максималната допустима концентрация според Наредба 3/2008;
 * Стойностите според UNSCEAR (1993); ND- няма данни; BC - фонове концентрации.
 IC - Интервенционни концентрации на замърсяването с тежки метали

Sps1, 2, 3, 4	Мина Сенокос, проби 1, 2, 3, 4
Sps 22	Контрола, Сенокос
Sps31, 53	Щолни 31, 53, Елешница
SpsWT	Пречиствателна станция, Елешница
SpsBE	Котрола, Елешница

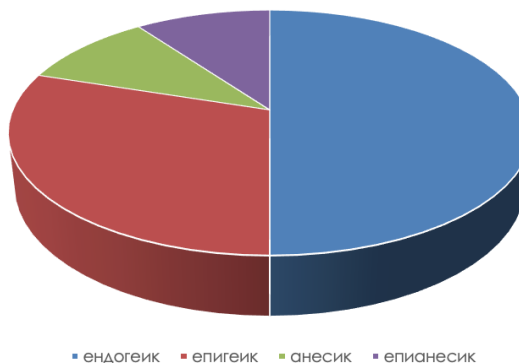
VI.3. Видова структура на лумбрицидните съобщества

VI.3.1. Таксономичен състав, общ брой видове (S) и честота на срещане на отделните видове в районите на проучване

Десет вида (*Allolobophora chlorotica*, *Aporrectodea caliginosa*, *A.trapesoides*, *A.rosea*, *Bimastos rubidus*, *Eisenia fetida*, *Octolasion lacteum*, *Lumbricus rubellus*, *L. terrestris*, *L. meliboues*), принадлежащи към шест рода от семейство Lumbricidae, са идентифицирани по време на целия период на проучване (2011-2016 година) на всички пробни площадки (Таб. 8). Родовете *Aporrectodea* и *Lumbricus* са представени с по 3 вида, а всички останали – само с по един.

От регистрираните лумбрициди, преобладава групата на видовете ендегик, които съставят 50% от всички установени екологични групи (Фиг. 36).

<i>Allolobophora chlorotica</i>	ендогеик
<i>Aporrectodea caliginosa</i>	ендогеик
<i>A. trapesoides</i>	ендогеик
<i>A. rosea</i>	ендогеик
<i>Bimastos rubidus</i>	еписеик
<i>Eisenia fetida</i>	еписеик
<i>Octolasion lacteum</i>	ендогеик
<i>Lumbricus rubellus</i>	еписеик
<i>Lumbricus meliboues</i>	еписеик
<i>Lumbricus terrestris</i>	анесик



Фиг. 36. Разпределение на установените видове по екологични групи.

Три вида (*A. rosea*, *E. fetida*, *O. lacteum*) се срещат на пробните и контролните пунктове на всички изследвани мини и за целия период на проучване ($pF = 100\%$). Всички те принадлежат към широко разпространени родове от семейството на земните червеи, които са числено доминиращи в обработваеми земи, агро-екосистеми и други екосистеми със значително антропогенно въздействие върху почвите. Таксоните са космополитни поради тяхната висока адаптивност и широка толерантност към много фактори на околната среда. За видовете е характерно състояние на факултативна диапауза, като отговор при ниски температури и ниски нива на влага в почвата (Gates, 1972; Lee, 1985). Видовете проявяват сравнително тесен диапазон на толерантност към влажността в почвата, но висок толеранс (10-30 °C) по отношение на температурата (Grant, 1955a, 1955b).

A.rosea и *O.lacteum* са ендоеик видове, много приспособими и в някои случаи по-способни да оцеляват в условия на остатъци от пестициди и тежки метали, в сравнение с по-дълбоко заравящите се видове. Сред видовете еписеик, *E. fetida* е най-способният на акумулиране на тежки метали вид, който широко се използва като еталон в различни тестове за наличие на токсичност (Hertel-Aas, 2007). *E. fetida* проявява екологично и физиологично поведение, различно от анесик или ендоеик видовете (екологичните категории, живеещи по-дълбоко в почвата и излизачи, или не на повърхността, за да се хранят).

Отговорът на почвените безгръбначни, в това число и на земните червеи, към замърсяване на почвата с метали и радионуклиди, са в съгласие с екологичната теория, според която стресираните екосистеми стават по-малко разнообразни с доминиране на няколко вида и заместване на чувствителните популации с по-толерантни (Odum, 1985; Pennanen et al., 1996).

Таб. 8. Установени видове лумбрициди във всички изследвани пунктове за целия период на изследване (2011-2016 година).

Таксони	Елешница мина	Елешница контр	Сенокос мина	Сенокос контр	Бухово мина	Бухово контр	Сеславци мина	Сеславци контр	Искра мина	Кътина контр	pF %
<i>Allolobophora chlorotica</i> (Savigny, 1826)			x								10
<i>Aporrectodea caliginosa</i> (Savigny, 1826)			x	x			x				30
<i>Aporrectodea trapesoides</i> (Duges, 1828)			x	x							20
<i>Aporrectodea rosea</i> (Savigny, 1826)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	100
<i>Bimastos rubidus</i> (Eisen, 1874)			x								10
<i>Eisenia fetida</i> (Savigny, 1826)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	100
<i>Octolasion lacteum</i> (Orley, 1881)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	100
<i>Lumbricus rubellus</i> (Hoffmeister, 1843)	x	x	x	x			x	x	x	x	80
<i>Lumbricus meliboues</i> (Rosa, 1884)							x				10
<i>Lumbricus terrestris</i> (Linnaeus, 1758)							x	x			20
брой видове	4	4	8	6	3	3	7	5	4	4	

L. rubellus не е установен само на пробните и контролния пункт в района на Бухово (pF = 80%). Видът естествено обитава влажни почви с високо съдържание на органична материя и малък диапазон на колебание на рН. Три вида *A. chlorotica*, *B. rubidus*, *L. meliboeus* (pF = 10%) са установени само на територията на мините (първите два на пробни пунктове в мина Сенокос, а третия – в мина Сеславци). *A. chlorotica* е ендегичен вид, който изгражда сложни системи от канали, където се храни с богата на органика материя и рядко излиза на повърхността. *B. rubidus* спада към екологичната група епигейк и обитава и се храни в богатите на органика повърхностни слоеве на почвата (Hendrix, 1995). *L. meliboeus* е предимно планински вид (Milutinovic et al., 2013), обитаващ незасегнати от антропогенно въздействие зони. *A. caliginosa* (pF = 30%), и *A. trapezoides* (pF = 20%) са едни от често доминиращите видове земни червеи в умерените агроecosистеми (Bart et al., 2018). Обикновено не са типично срещани в промишлено замърсени райони, а в контролни такива (Krivolutskii, 1992). *L. terrestris* (pF = 20%) е дълбоко ровещ вид, който изгражда вертикални полупостоянни дупки. Липсата на някои места, на добре оформен почвен слой може да е причина за ниската честота на срещаемост на вида.

Броят на видовете, установени за целия период на изследване на пробните и контролните пунктове в районите на петте мини, варира между 3 (Бухово) и 8 (Сенокос мина) (Таб. 8). Една от причините за малкия брой видове, установени на територията на мина Бухово е ниското съдържание на ОМ. В района на Елешница и мина Искра са установени по 4 вида лумбрициди.

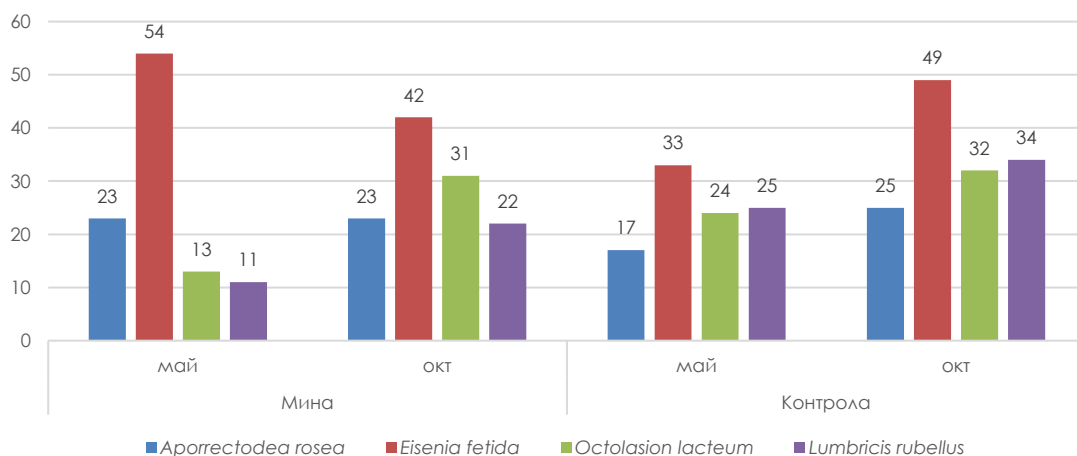
Броят на идентифицираните видове на отделните пробни площадки варира между 2 (май 2015, Бухово) и 7 (октомври 2012, Сенокос и май 2015, Сеславци), което съответства на твърдението на Edwards & Bohlen (1996), че разнообразието от земни червеи в дадено местообитание варира от 1 до 15 вида. Установените видове обаче са представени променливо – общото обилие от индивиди е по-високо в контролните участъци.

Установените 4 вида – *A. rosea*, *E. fetida*, *O. lacteum*, *L. rubellus*, на пунктовете в района на Елешница се откриват почти във всички проби, събрани през месеците май и октомври 2011 – 2016 година (Приложение, Таб. 1). Само в четири случая броят на регистрираните видове е 3 – през октомври 2012, май 2013 и май 2015 в пробите от мина Елешница и през май 2013 в пробата от контролния пункт. Стойностите на индекса pF показват, че в района на Елешница всички

идентифицирани видове са постоянни компоненти на средата с висока честота на срещане ($pF = 100\%$ или $pF = 91,6\%$), както на територията на мината, така и в контролния пункт (Приложение, Таб. 1).

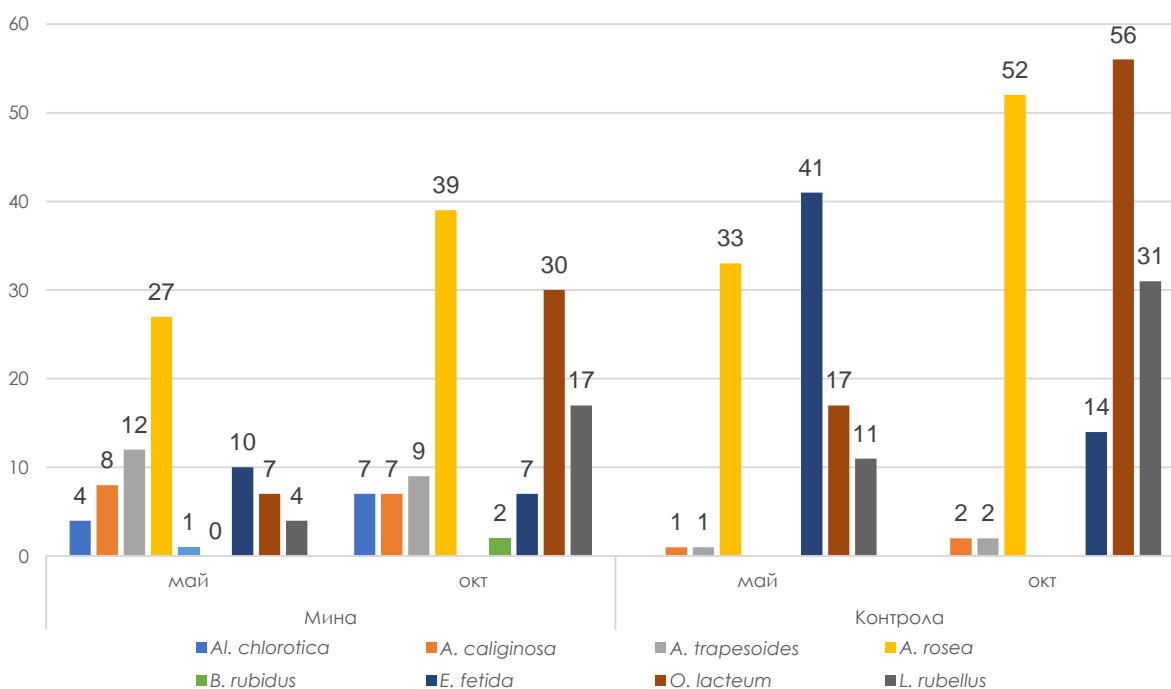
Най-многочисленият вид в района на мина и контролен пункт Елешница, както през пролетните, така и през есенните пробовземания е *E. fetida* (Фиг. 37). Други два вида присъстват по-обилно в есенните проби - *O. lacteum* и *L. rubellus*.

Броят на регистрираните видове в Сенокос е по-висок в пробите от територията на мината (8), в сравнение с контролния пункт (6) (Приложение, Таб. 2). Общите за пробите от мината и контролата видове са *A. caliginosa*, *A. Trapesoides*, *A. rosea*, *E. fetida*, *O. lacteum*, *L. rubellus*. Два вида (*Al. chlorotica* и *B. rubidus*) се срещат само на територията на мина Сенокос. По-високото видово богатство на лумбрицидните съобщества в пробните пунктове от Сенокос може да се дължи на рекултивационните дейности след прекратяване дейността на мината, извършени чрез разпръскване на хумусен слой, пясъци и естествени торове на повърхността, за да се създадат условия за нормалното развитие на растителни и почвени видове. В района на Сенокос най-често срещани са два вида, както на територията на мината, така и в контролния пункт *A. rosea* ($pF = 100\%$), и *O. lacteum* ($pF = 75\%$). *E. fetida* и *L. rubellus* също имат високи стойности на pF , вариращи между 58% и 67% в мината и контролната площадка. Видовете *A. caliginosa* ($pF = 57\%$) и *A. trapesoides* ($pF = 100\%$) са постоянни в пробите от мината, но рядко срещани в контролата ($pF = 25\%$). Двата вида, открити само на територията на мина Сенокос, са със стойности на индекса за честота на срещане, съответно $pF = 58\%$ за *Al. chlorotica* и $pF = 8,3\%$ за *B. rubidus* (най-рядко срещания вид) (Приложение, Таб. 2).



Фиг. 37. Численост на видовете лумбрициди (възрастни индивиди), установени в района на Елешница (2011-2016 година).

За целия период на изследване *A. rosea* е най-многочисленият вид в района на мина Сенокос (Фиг. 38). Обилието му в пролетните проби е почти двойно по-голямо, в сравнение с това на останалите видове, регистрирани на територията на мината. В контролния пункт по-многочислени са видовете *A. rosea* и *E. fetida* през пролетните, и *A. rosea* и *O. lacteum* през есенните пробовземания. За целия период на изследване от вида *Al. chlorotica* са установени 11 възрастни индивида, а от вида *B. rubidus* само 2. Причината за малкия брой индивиди регистрирани от тези два вида, може да е свързана с преференциите им към субстрати, богати на растителни остатъци като гниеца дървесина и друга растителна материя, компост, торф, и условия, които не са типични на територията на изследваните мини.



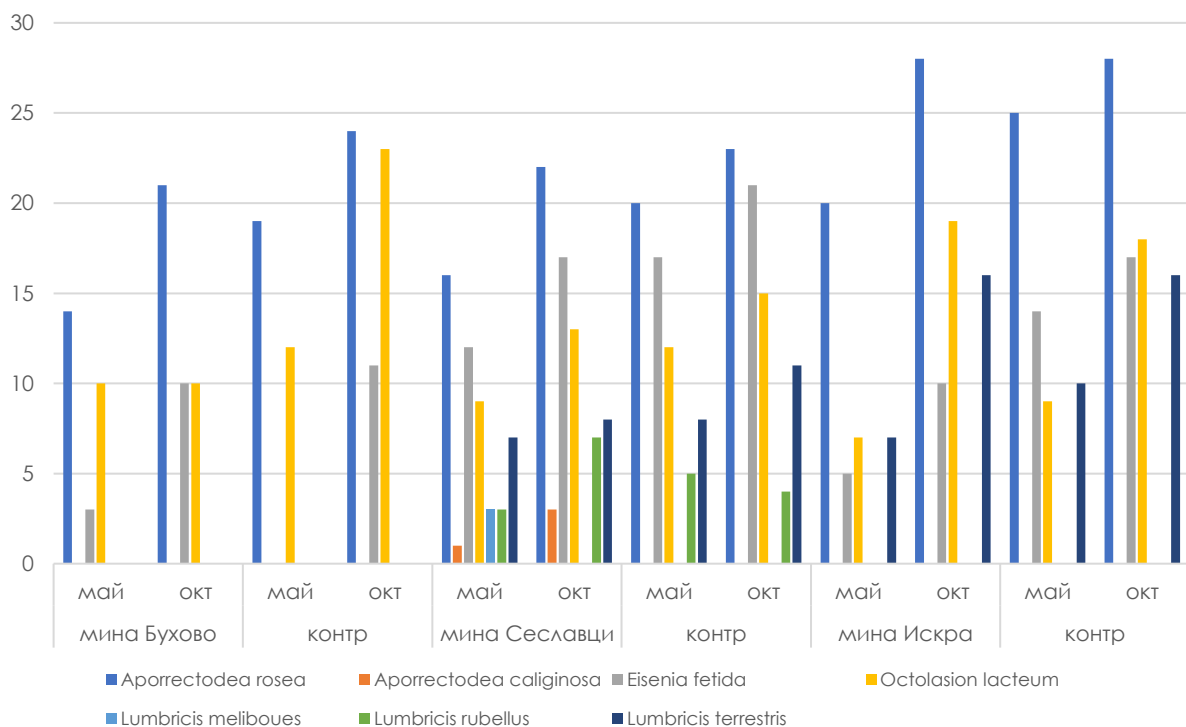
Фиг. 38. Численост на видовете лумбрициди (възрастни индивиди), установени в района на Сенокос (2011-2016 година).

По време на двегодишното проучване на трите мини от Софийското поле, са идентифицирани седем вида земни червеи (*A. rosea*, *A. caliginosa*, *E. fetida*, *O. lacteum*, *L. rubellus*, *L. terrestris*, *L. meliboues*) (Приложение, Таб. 3). Всичките те се срещат на територията на мина Сеславци, като два от тях, *A. caliginosa* и *L.*

meliboues, не са открити в пробите от контролния пункт. Тези видове присъстват само в една локация и с по 4 индивида за целия период на изследване (Фиг. 39).

Стойностите на индекса честота на срещане в района на Бухово показват, че *A. rosea*, *O. lacteum*, *E. fetida* са постоянни компоненти на съобществата, като *E. fetida* понижава стойностите си от рF 75 % в пробите от мина Бухово до рF 50 % в пробите от контролния пункт. В пробите от района на мина Сеславци само видовете *L. meliboues* (рF = 75 %) и *A. caliginosa* (рF = 50 %), които не се срещат в контролата, са с малко по-ниски стойности на показателя честота на срещане. В района на Кътина всички идентифицирани видове са постоянни компоненти на съобществата – срещат се във всички проби (рF = 100 %), както от територията на мината, така и от контролния пункт (Приложение, Таб. 3).

Най-многочисленият вид е *A. Rosea*, както на територията на мините, така и на съответните им контролни пунктове. По-многочислени са също видовете *O. lacteum* и *E. fetida*, предимно в пробите взети през месец октомври.



Фиг. 39. Численост на видовете лумбрициди (възрастни индивиди), установени в района на Бухово, Сеславци, Кътина (мина Искра) (2015-2016 година).

Най-обилният вид за целия изследван период и за всички пробни площадки е *A. rosea*. Видът се среща сред корени на растителни и дървесни видове и в

горния слой на почвата между 2 и 10 см. Многократно е описван в България от различни автори през годините (*Rosa, 1897; Černosvitov, 1937; Plisko, 1963; Mihailova, 1964, 1966; Šapkarev, 1986; Uzunov, 2010; Stojanović et al., 2012; Valchovski, 2014; Valchovski & Szederjesi, 2016*). Преобладаването на видове като *A. rosea, E. fetida, O. lacteum*, които са толерантни към различни условия и смущения в средата, може да се разглежда като резултат от интензивна антропогенна дейност, съпровождаща производството на уран от минната индустрия. Съобщества, включващи в състава си по-чувствителни видове са индикатор за по-благоприятни екологични условия на средата (*Ivask & Kuu, 2005*). Три от установените в проучването видове (*Al. chlorotica, B. rubidis, L. meliboues*) се срещат само на територията на пробните пунктове (мините). Някои пък от видовете са с по-висока численост в пробите, взети от територията на мините в сравнение с контролните участъци. Това напълно съответства на констатациите на *Krivolutzkii (1987, 1992)*, които показват, че 2 години след аварията в Чернобил (1988) броят на земните червеи в засегнатите участъци е по-висок, отколкото в контролните.

VI.3.2. Сходство на видовия състав

Сходството между видовия състав на съобществата от земни червеи от мина Елешница и съответното ѝ контролно място е 100 %, а между видовия състав на съобществата от мина и контрола Сенокос е $QS = 75$ %. Приликата между съобществата от земните червеи на територията на Елешница и Сенокос също е сравнително висока ($QS = 50$ %), въпреки че те са разположени на разстояние едно от друго и условията на околната среда са различни.

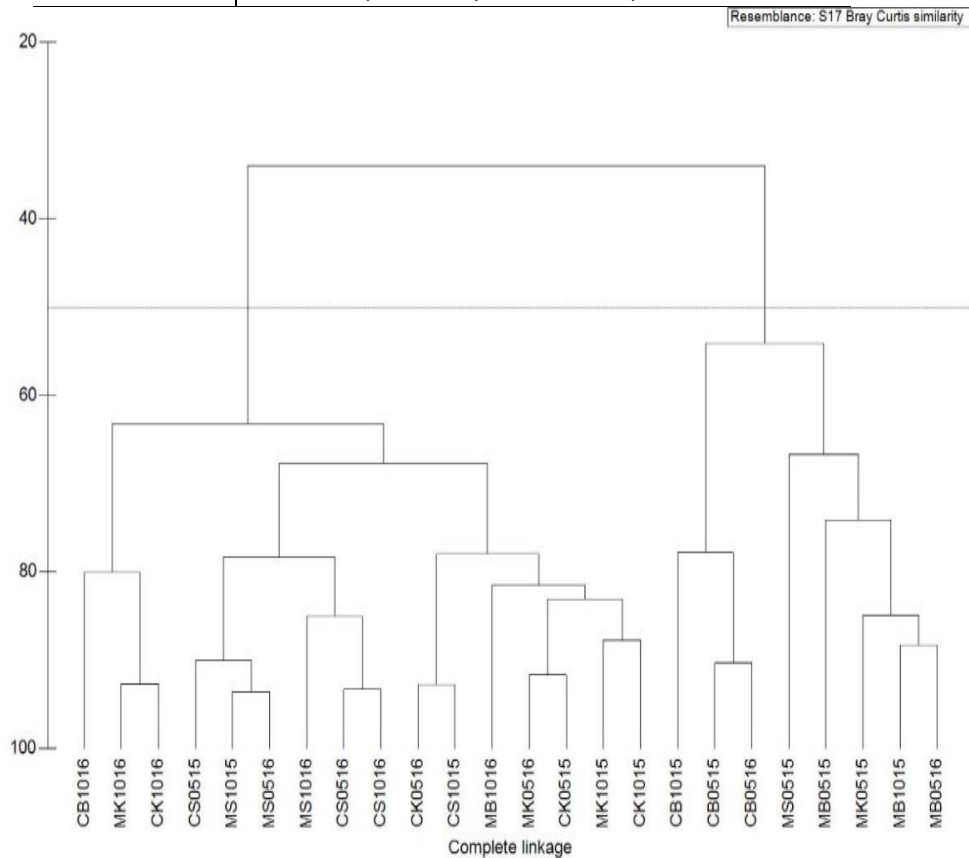
Налице е 100 % сходство между видовия състав на лумбрицидните съобщества от мина Бухово, мина „Искра“ и съответните им контролни места. В района на Сеславци сходството ($QS = 71$ %) между видовия състав на съобществата от мината и контролата е високо. (Таб. 9). Приликата между лумбрицидните съобщества на територията на мините в близост до София е от средно до високо, съответно $QS = 42$ % между Бухово и Сеславци, $QS = 57$ % между Сеславци и „Искра“ и $QS = 75$ % между Бухово и „Искра“. Независимо, че Бухово и Сеславци са част от Буховското минно поле, сходство между тях е най-ниско.

Таб.9. Сходство на видовия състав на съобществата от земни червеи от изследваните мини и съответите им контролни участъци.

QS %	Елешница		Сенокос		Бухово		Сеславци		Искра Кътина	
	Мина	Контр	Мина	Контр	Мина	Контр	Мина	Контр	Мина	Контр
	100%		75%		100%		71%		100%	

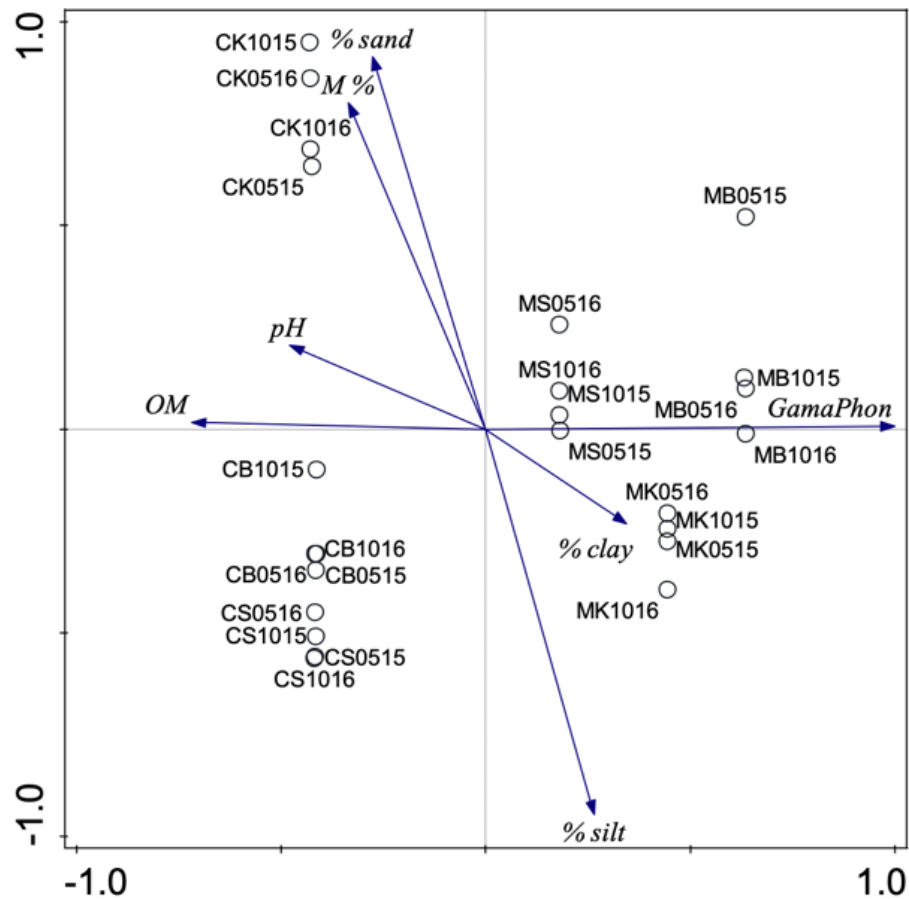
Извършеният клъстерен анализ на данните от мините от Софийското поле, показва по-голямо сходство между местата на пробовземане, разположени на териториите на мините в сравнение с контролните участъци (Фиг. 40). Вижда се, че точките, разположени в района на Бухово, са групирани в една подгрупа. Тук се очертава диференцирано разделение на две подгрупи. Първата – от всички пунктове на пробовземане, разположени на територията на мина Бухово (MB0515/0516, MB1015), където са регистрирани най-високите стойности на гамалъчение, а втората – от контролния пункт на Бухово (CB0515/0516, CB1015).

Бухово	хвостохранилища	SpsMB	MB
	контролен пункт	SpsBB	CB
Сеславци	Щолна 82	SpsMS	MS
	контролен пункт	SpsBS	CS
Кътина	мина Искра	SpsMK	MK
	контролен пункт	SpsBK	CK



Фиг. 40. Групиране на местата на пробовземане според сходството на видовия състав (2015-2016).

Визуализацията на PCA ординацията демонстрира, че първата ос обяснява близо 97% от вариацията на данните. (Фиг. 41). Гама-фонът формира градиент, който отделя повлияните от контролните места. Разпределението на факторите на средата показва, че радиоактивното натоварване има доминиращо въздействие и играе ключова роля в замърсените/повлияните площадки. Останалите фактори, представени в ординационната диаграма (органична материя, влага, тип субстрат), оказват по-съществено влияние върху условията на средата в контролните площадки (лявата част на диаграмата).



	Axis 1	Axis 2	Axis 3	Axis 4
Стойности	0.9669	0.0211	0.0072	0.0036
Вариация (кумулятивна)	96.69	98.80	99.53	99.88

Фиг. 41. PCA на разпространението на изследваните пунктове и основните фактори на околната среда (2015-2016).

VI.3.3. Обща численост (N) на съобществата от земни червеи

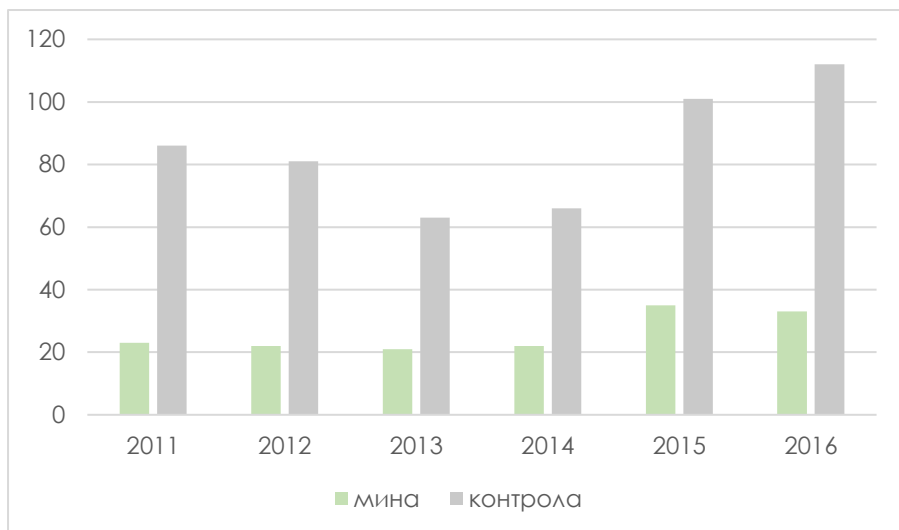
Общо 3260 индивида земни червеи са събрани от всички изследвани пунктове за целия период на проучване. От тях 971 индивида са събрани от пунктовете в района на с. Елешница, 462 от територията на мината (3 пробни пункта) и 509 от контролния пункт. От всички събрани индивиди 458 са полово зрели и 513 неполово зрели. От района на с. Сенокос са събрани 902 индивида, 432 от четирите пробни пункта на територията на мината и 470 от контролния участък. Броят на полово зрелите и незрелите индивиди е равен – 451.

Общата численост на съобществата от контролния пункт в района на Елешница е по-висока през всички години на изследване – от 3 (2013 – 2016 година) до около 4 пъти (2011 и 2012 година) в сравнение с осреднената численост на съобществата от пробните пунктове. Прави впечатление, че в периода 2011 – 2014 година броят на индивидите на пробните пунктове е малък и се запазва относително постоянен (колебае се между 21 и 23 индивида), докато през 2015 и 2016 година той се повишава (около 1,5 пъти). Подобно увеличаване на общата численост през 2015 и 2016 година се наблюдава и на контролния пункт (Фиг. 42а).

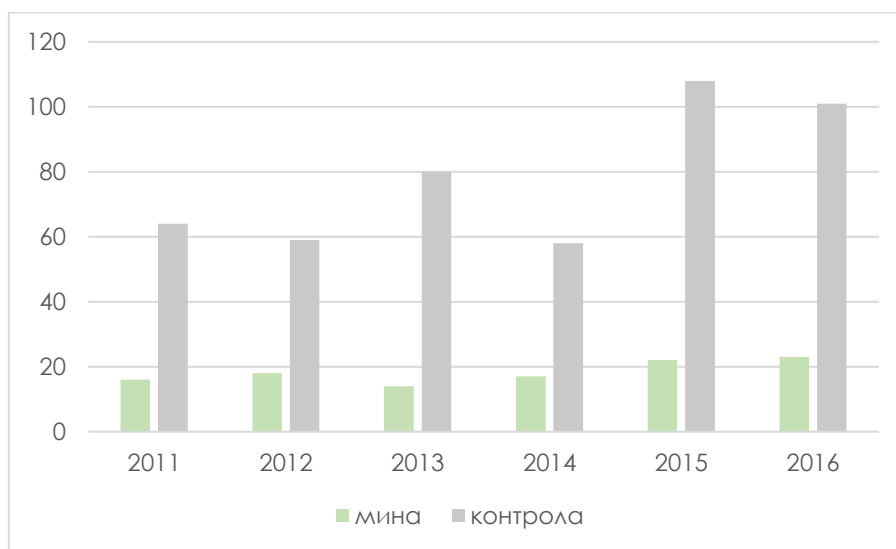
За района на Сенокос общата численост на лумбрицидните съобщества от пробните пунктове е малка през целия период на изследване и се колебае между 14 (2013 година) и 23 индивида (2016 година). Числеността на съобществата от контролния пункт е значително по висока – от 3,2 (2012 година) до 5,7 пъти (2013 година), като подобно на контролния пункт в района на Елешница и тук се наблюдава по-висока численост през 2015 и 2016 година (Фиг. 42б).

От пунктовете в района на мините в близост до София са събрани общо 1387 индивида, от които 630 от пробния пункт и 757 от контролния. Броят на събраните индивиди от всички видове за двете изследвани години е по-висок в контролните в сравнение с пробните пунктове (Фиг. 43). Числеността е най-ниска на пробния пункт на територията на Бухово (147 индивида), където е регистриран и най-малкия брой видове (3). Една от възможните причини за малкия брой видове и индивиди, установени на територията на мина Бухово, е ниското съдържание на ОМ в почвите там.

От всички 1387 лумбрициди, 666 са половозрели, а 721 са неполовозрели индивиди (Фиг. 44).

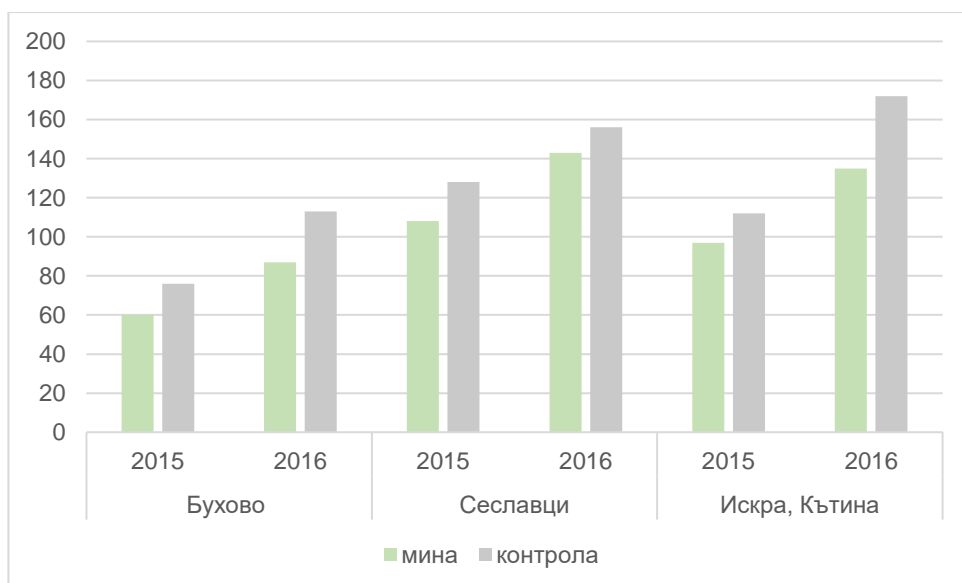


а

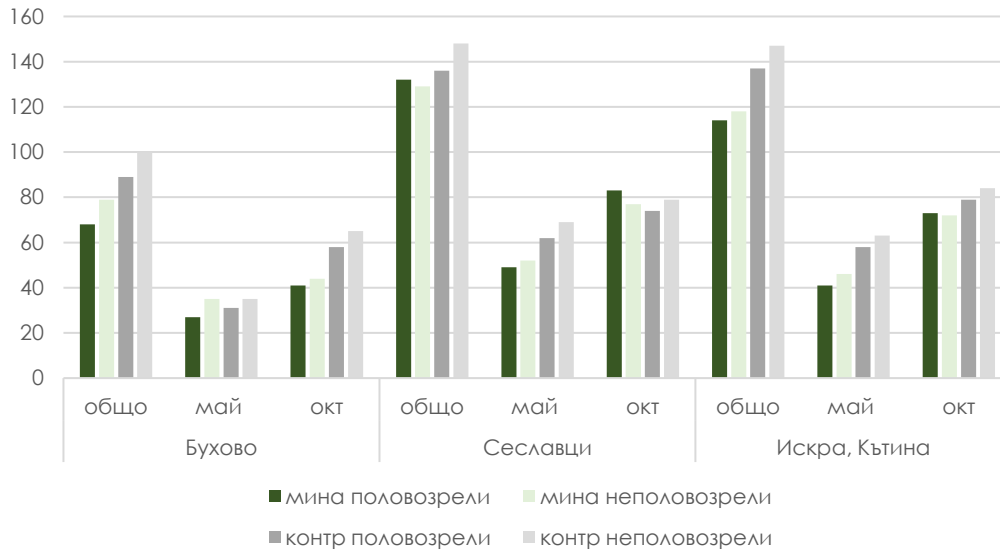


б

Фиг. 42. Обща численост на лумбрицидните съобщества в района на Елешница (а) и Сенокос (б) (2011-2016 година).

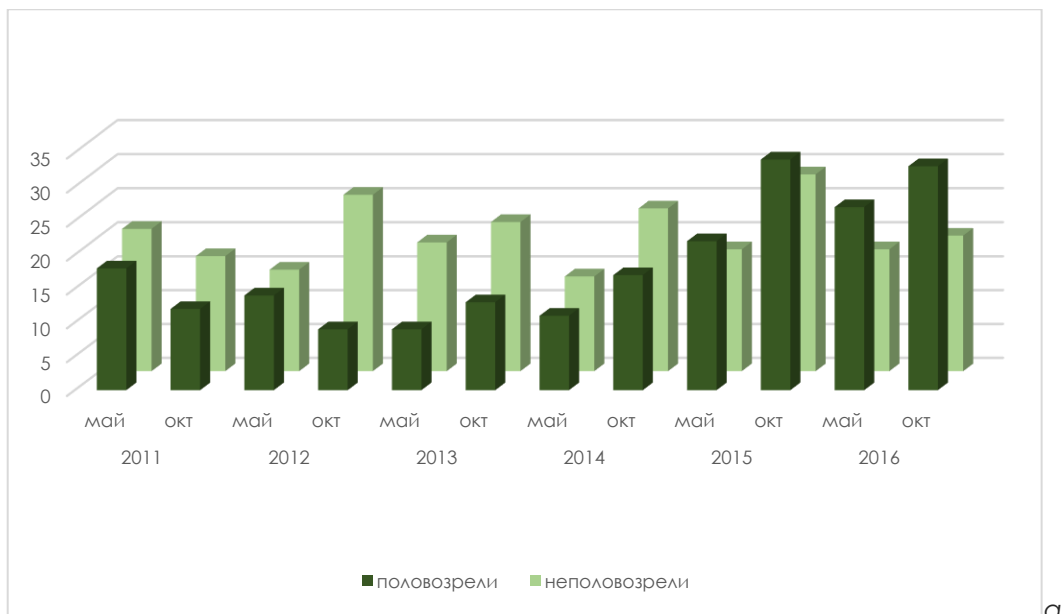


Фиг. 43. Брой лумбрициди, събрани от пробните и контролните пунктове на Бухово, Сеславци и Кътина (мина Искра) (2015-2016).

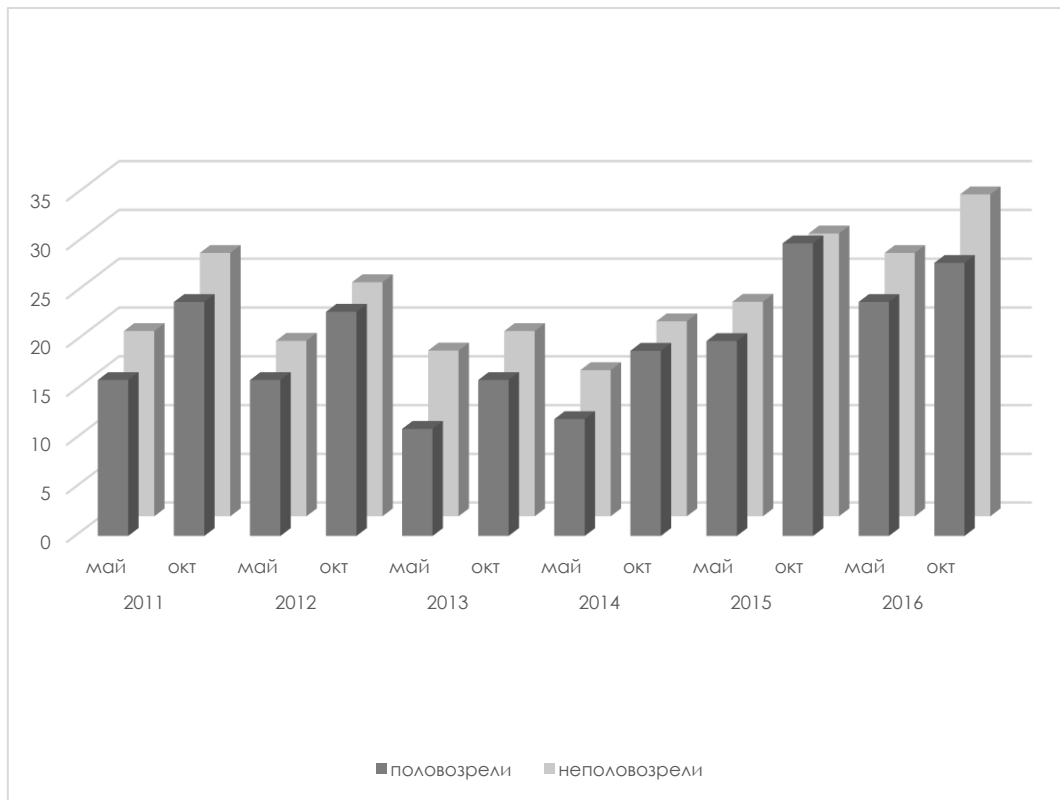


Фиг. 44. Съотношение на полово зрелите и неполо зрелите червеи, събрани от територията на на Бухово, Сеславци и Кътина (мина Искра) (2015-2016).

Установена бе разлика в съотношението между възрастовите групи (неполово зрели-acitellates и полово зрели-clitellates) на лумбрицидите в различните етапи на пробовземане. По отношение на числеността на тези групи в пробите взети от територията на мина Елешница се наблюдава преобладаване на неполово зрелите индивиди, с изключение на 2015 и 2016 години (Фиг. 45 а, б)



а

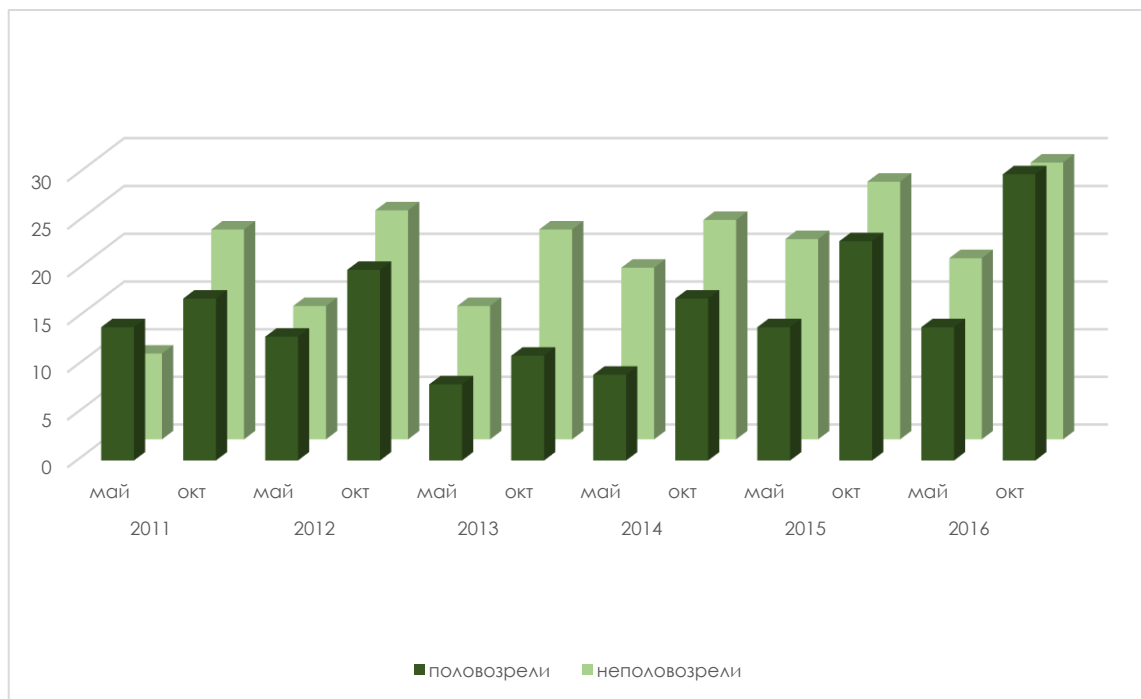


б

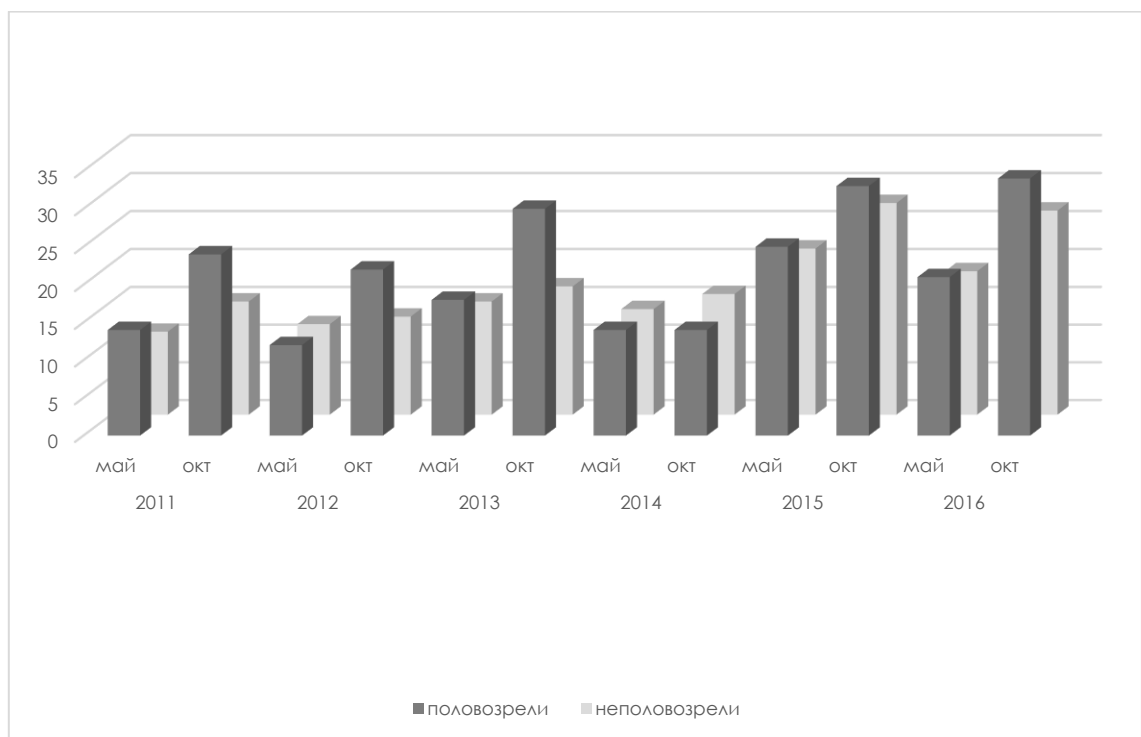
Фиг. 45. Разпределение на индивидите по възрастови групи, мина (а) и контролен пункт (б) Елешница (2011-2016 година).

В пробите от контролния пункт в района на Елешница неполовозрелите индивиди преобладават, макар и с малко, над половозрелите през всички месеци и години на изследване, с изключение на м. октомври 2015 година (Фиг. 45 б)

По отношение на числеността на възратовите групи на земните червеи от района на мина Сенокос се наблюдава преобладаване на неполово зрелите индивиди, с изключение на май 2011 година. В пробите взети от територията на контролния пункт тенденцията е обратната. Преобладава групата на полово зрелите земни червеи, с изключение на май 2012 година и цялата 2014 година (Фиг. 46 а, б).



а

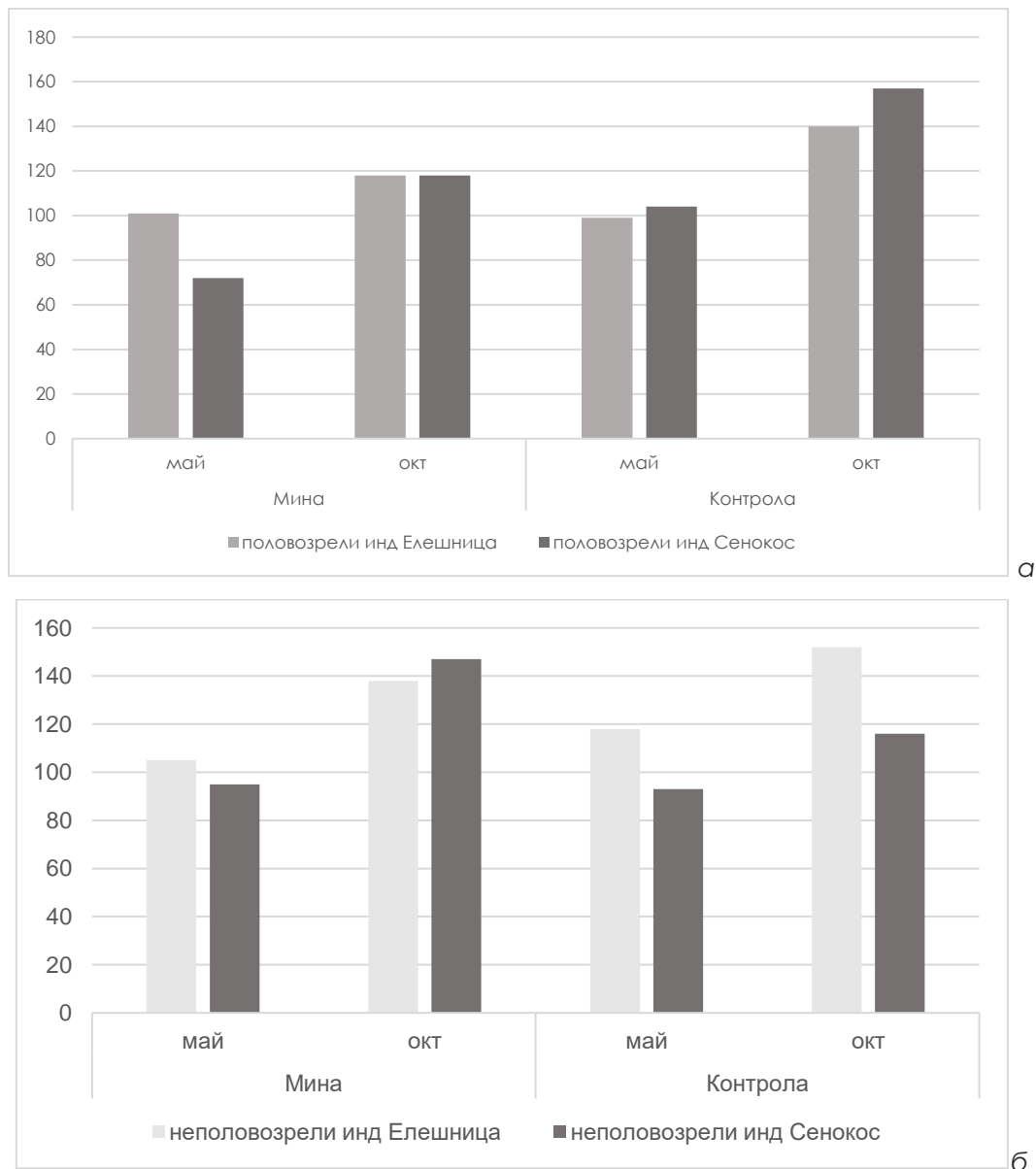


б

Фиг. 46. Разпределение на индивидите по възрастови групи, мина (а) и контролен пункт (б) Сенокос (2011-2016 година).

За целия период на изследване (2011-2016 година) и на двете локации (Елешница и Сенокос), събраните полово зрели и неполово зрели червеи са по-обилно представени в есенните пробовземания и на територията на контролните

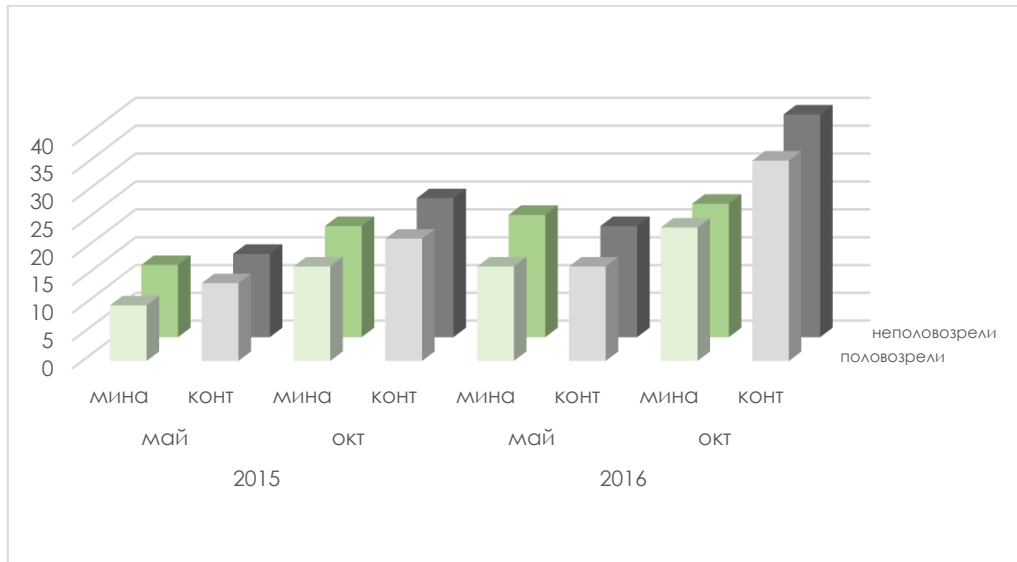
пунктове (Фиг. 47 а, б). Стойностите при неполовозрелите лумбрициди нарастват с 25 % до 50 % през есента.



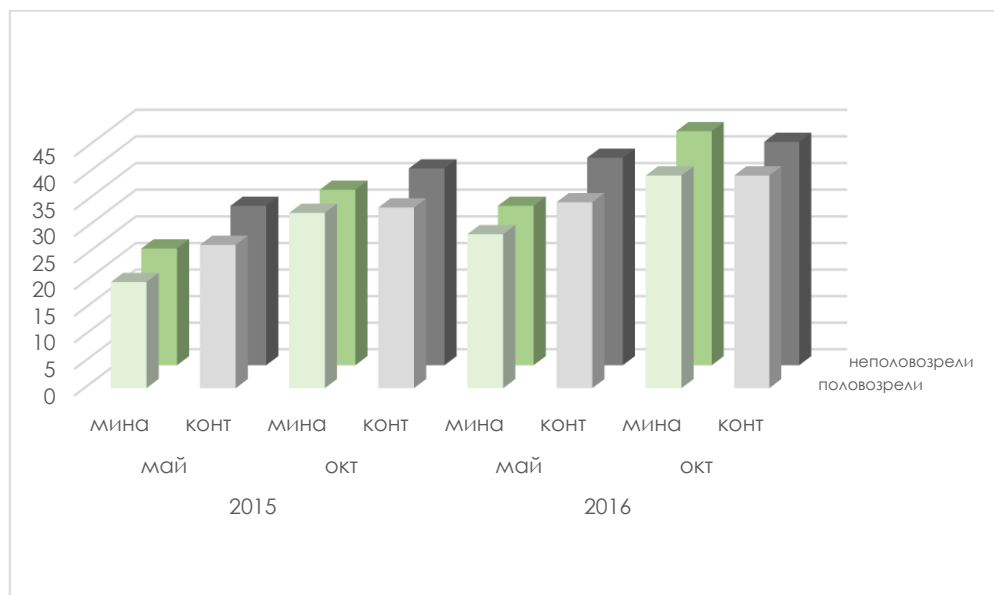
Фиг. 47. Съотношение на полово зрелите (а) и неполо зрелите (б) червеи, събрани от територията на Елешница и Сенокос (2011-2016 година).

Наблюдава се нарастване на броя на младите екземпляри от пролетта към есента. Като цяло, броя на младите лумбрициди е по-висок от тези на възрастните във всички проби и всички години на изследване (Фиг. 48, 49, 50). За 2015 година съотношението е 68 към 79 (Бухово), 122 към 129 (Сеславци) и 114 към 118 (Кътина). За 2016 година - 89 към 100 (Бухово), 136 към 148 (Сеславци) и 137 към 147 (Кътина).

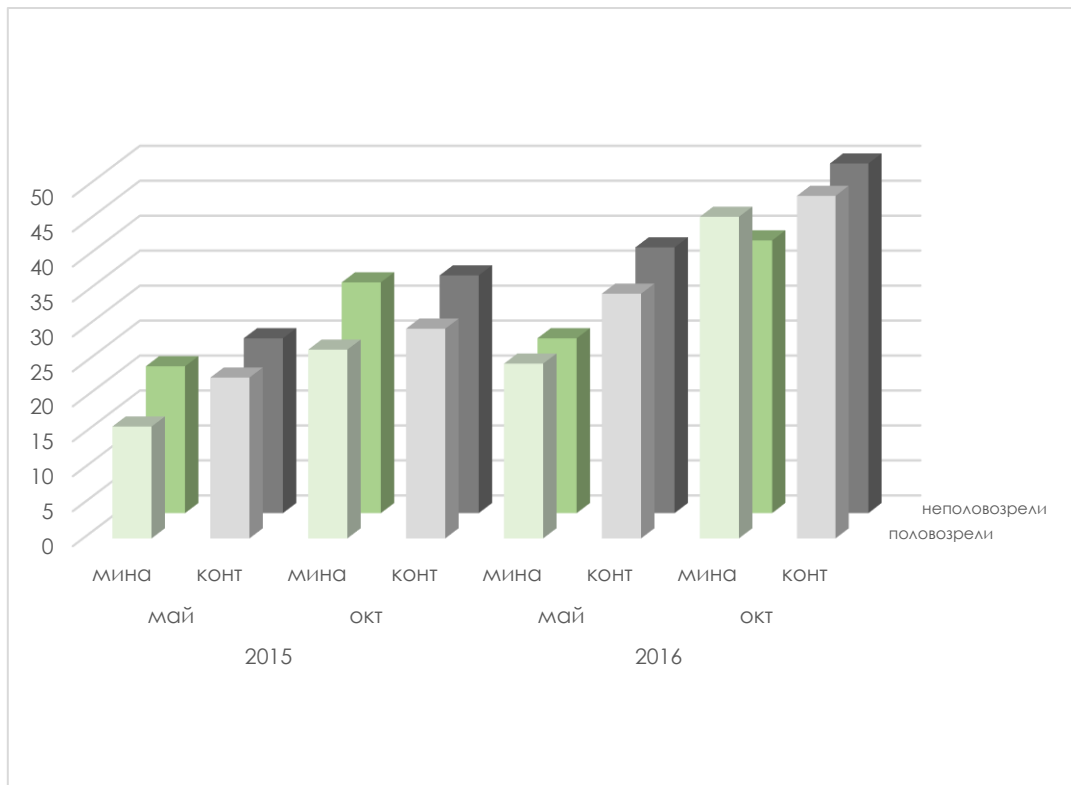
Установените промени в разпределението на възрастовите групи, с течение на времето, потвърждава доказаното от *Watanabe & Tsukamoto (1976)*, според които неполово зрели екземпляри се регистрират главно през есента, когато се елиминира влиянието на високите и ниски температури през лятото и зимата, съответно.



Фиг. 48. Разпределение на индивидите по възрастови групи, мина и контролен пункт Бухово (2015-2016 година).



Фиг. 49. Разпределение на индивидите по възрастови групи, мина и контролен пункт Сеславци (2015-2016 година).



Фиг. 50. Разпределение на индивидите по възрастови групи, мина Искра и контролен пункт Кътина (2015-2016 година).

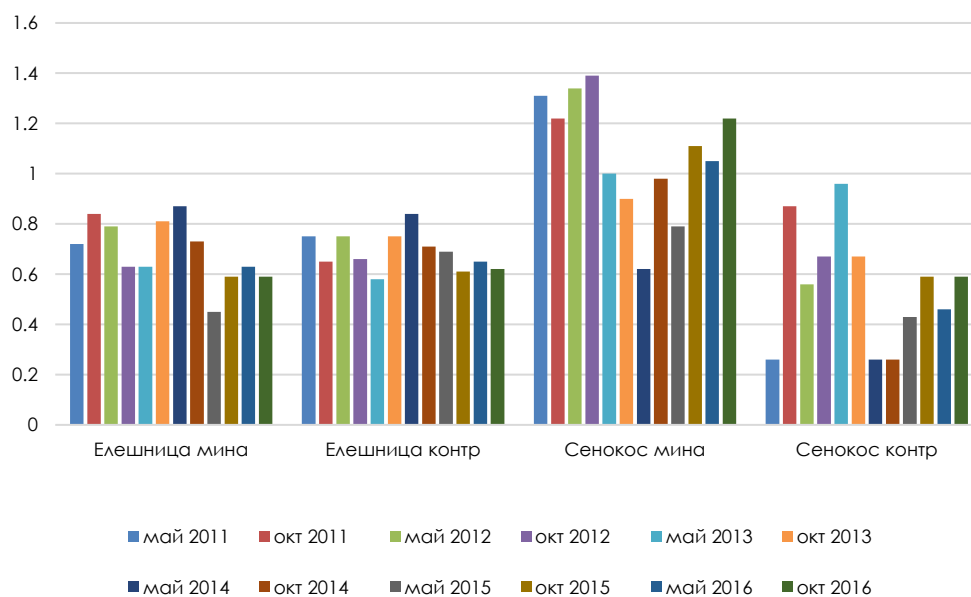
Не само характеристиките на средата (основно температурата и влажността) са критични фактори, регулиращи биологичната активност на организмите в почвата (Han et al., 2014). Наличието на замърсяване с U и други тежки метали също оказват влияние върху броя и характеристиките на разпределение на видовете от земни червеи. Всяка поява на млади форми е доказателство, че тази група животни са способни да се размножават в антропогенно повлияни местообитания. Преобладаването на младите, неполово зрели форми обаче, може да постави под въпрос последвалата съдба на лумбрицидите в тези местообитания. По-ниския брой възрастни форми може да се разглежда и като доказателство за негативното въздействие на целия специфичен комплекс фактори, който се формира на антропогенно повлияните от уранодобива местообитания (Vorobeichik et al., 1994; Vorobeichik & Khantemirova, 1994).

VI.3.4. Индекси за видово разнообразие

VI.3.4.1. Индекс за видово богатство (d)

Стойностите на индекса на Маргалеф за видово богатство на съобществата от земни червеи от територията на Елешница (мина 0,45 - 0,87 и контрола 0,58 - 0,84) са относително близки, което съответства и на еднакъв брой видове, открити за целия период на изследване. По-големи са колебанията на индекса на пробните пунктове (Фиг. 51).

На територията на мина Сенокос е установено максимално богатство от видовете. Това е и мястото, в което са открити всичките идентифицирани в изследването на мините от Югозападна България видове земни червеи. Стойностите на индекса варират от 0,26 (контролна площадка на Сенокос, май 2011 година) до 1,39 (мина Сенокос, октомври 2012 година (Фиг. 51).

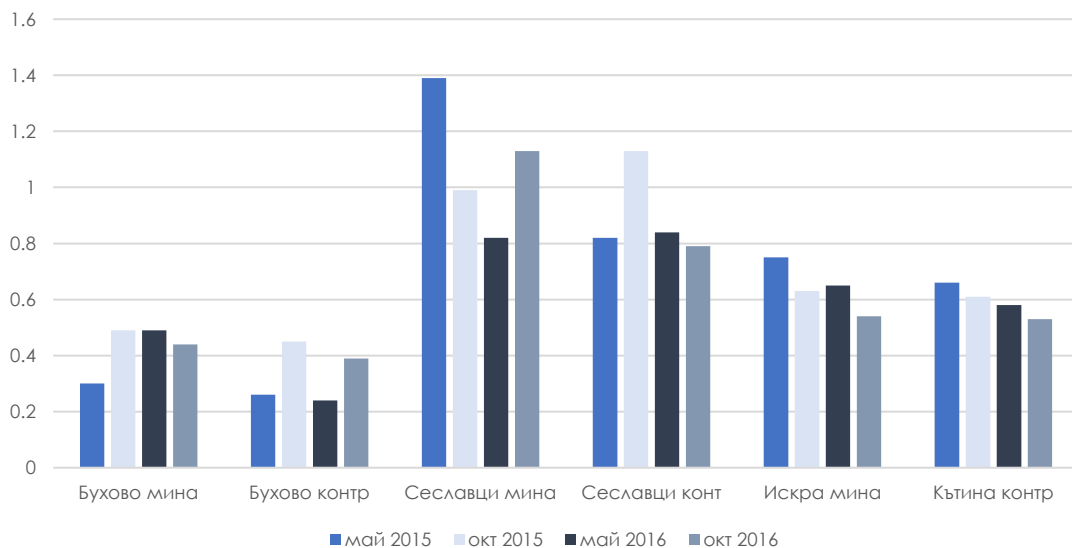


Фиг. 51. Стойности на индекса за видово богатство (Елешница и Сенокос, 2011-2016 година).

По-ниските стойности на индекса в пробите от контролния пункт на Сенокос могат да се дължат на провеждането на различни селскостопански практики в тази територия (обработваемите земи на село Сенокос) или на замърсената с U и тежки метали подпочвена вода, както и в резултат на ерозия настъпила при експлоатация на мината, при която големи количества повърхностен почвен слой са били разпръснати в околните на мините райони.

Анализът на данните за видово показва, че индексът на Маргалеф има максимални стойности в изследваните проби от територията на мина Сеславци (0,79 - 1,39) – мястото с най-голям брой идентифицирани видове земни червеи сред изследваните мини от Софийското поле. Стойностите на индекса за всички

изследвани пунктове варират от 0,24 (контролен пункт Бухово, май 2016 година) до 1,39 (мина Сеславци, май 2015 година) (Фиг. 52). Резултатите от района на Бухово са най-ниски и са в интервал 0,24 – 0,49. В пунктовете около Кътина вариациите в стойностите на индекса, както на пробния, така и на контролния пункт, за целия период на изследване са най-малки (0,53 - 0,75).



Фиг. 52. Стойности за индекса на видово богатство (Бухово, Сеславци и Кътина (мина Искра), 2015-2016 година).

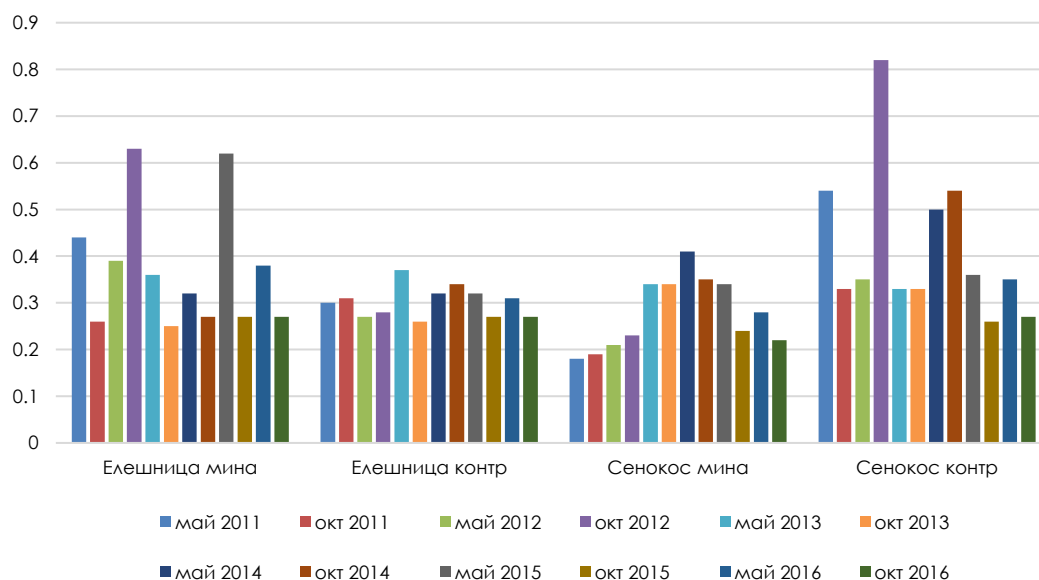
VI.3.4.2. Индекси за доминиране (с) и за изравненост (е) в съобществото

Доминирането е обратно пропорционално на разнообразието. И резултатите от изчисленията на индекса за доминиране показаха обратни стойности на тези от индекса на видово богатство.

Индексът за доминиране на мините от Югозападна България варира от 0,18 (мина Сенокос, май 2011 година) до 0,82 (контрола Сенокос, октомври 2012 година, където от 22 събрани индивида 17 принадлежат към два вида *A. rosea* – 8 инд. и *O. lacteum* – 9 инд.) Повечето от стойностите са по-ниски или около 0,4 за всички места на пробовземане на територията на двете мини (Фиг. 53). Единствените изключения правят контролния пункт на Сенокос през май 2011 година, мина Елешница и контрола Сенокос през октомври 2012 година, контрола Сенокос през май и октомври 2014 година и мина Елешница през май 2015 година. Най-високите стойности на индекса съответстват на числено близки стойности на индекса за изравненост (Фиг. 54). Това е относително рядко и се случва в случаи на намален брой таксони, представени само от единични индивиди. Индекса за изравненост варира между 0,62 (рудник Елешница,

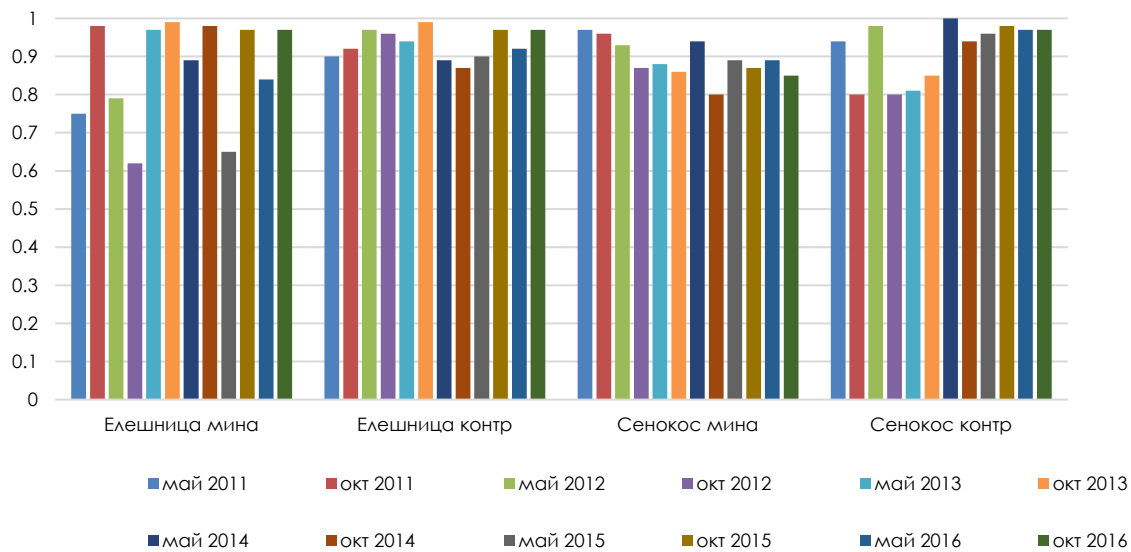
октомври 2012 година) и 1 (контролен пункт на Сенокос, май 2014 година). Съобществата от земни червеи от контролния пункт на Елешница имат най-ниските вариации в стойностите както на индекса за доминиране, така и за изравненост, което съответства на по-стабилните условия на околната среда там.

Най-висок е индексът за доминиране на контролен пункт Бухово 0,54 (май 2015 година), а най-нисък – при мина и контролен пункт Сеславци 0,19 (октомври 2015 и 2016 години). Всички резултати, с изключение на тези от района на Бухово, са по-ниски от 0,4 за целия период на изследване (Фиг. 55). Пунктовете от района на Кътина показват най-малки вариации в стойностите на индекса между контрола и мина за целия период на изследване (0,3-0,35).

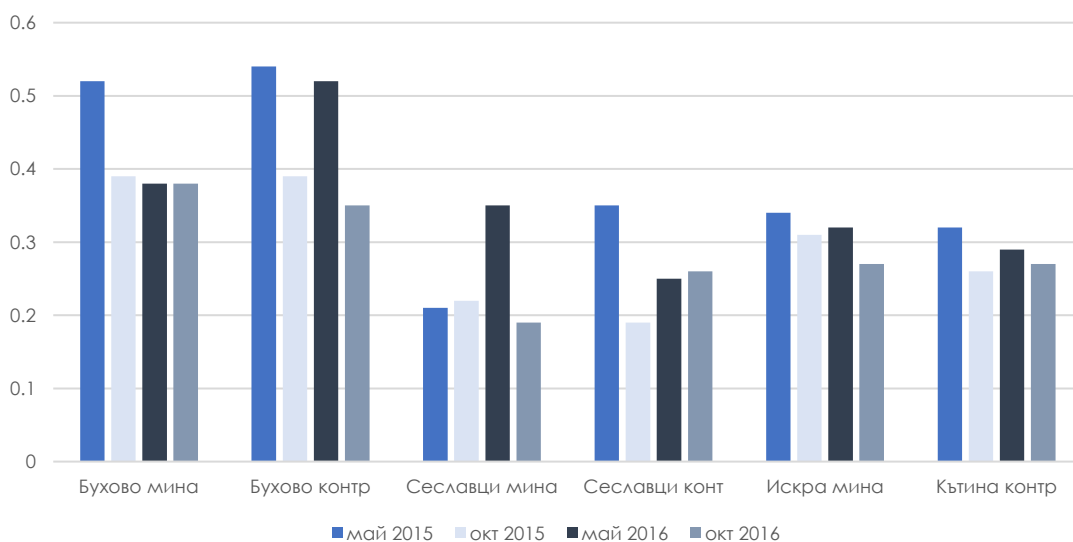


Фиг. 53. Стойности на индекса за доминиране в съобществото (Елешница и Сенокос, 2011-2016 година).

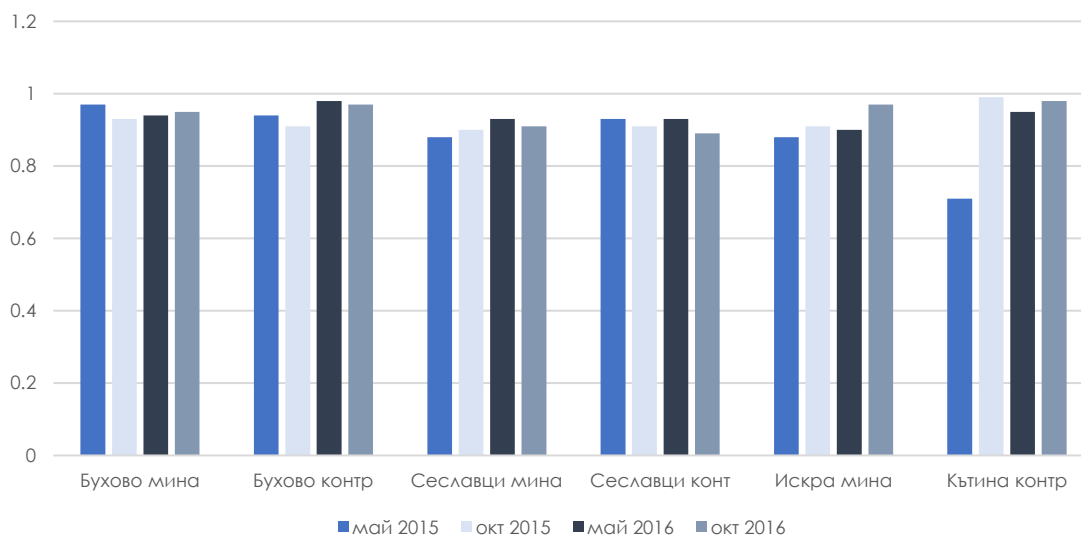
Резултатите, представящи индекса за изравненост варират между 0,8 и 0,99. Изключение прави контролната площадка на Кътина през май 2015 година, която показва и минималната стойност изчислена за индекса (0,71). На територията на същия пункт е изчислена и най-високата стойност за индекса за изравненост – 0,99 (октомври 2015 година) (Фиг. 56).



Фиг. 54. Стойности на индекса за изравненост в съобществото (Елешница и Сенокос 2011-2016 година).



Фиг. 55. Стойности на индекса за доминиране в съобществото (Бухово, Сеславци и Кътина (мина Искра), 2015-2016 година).

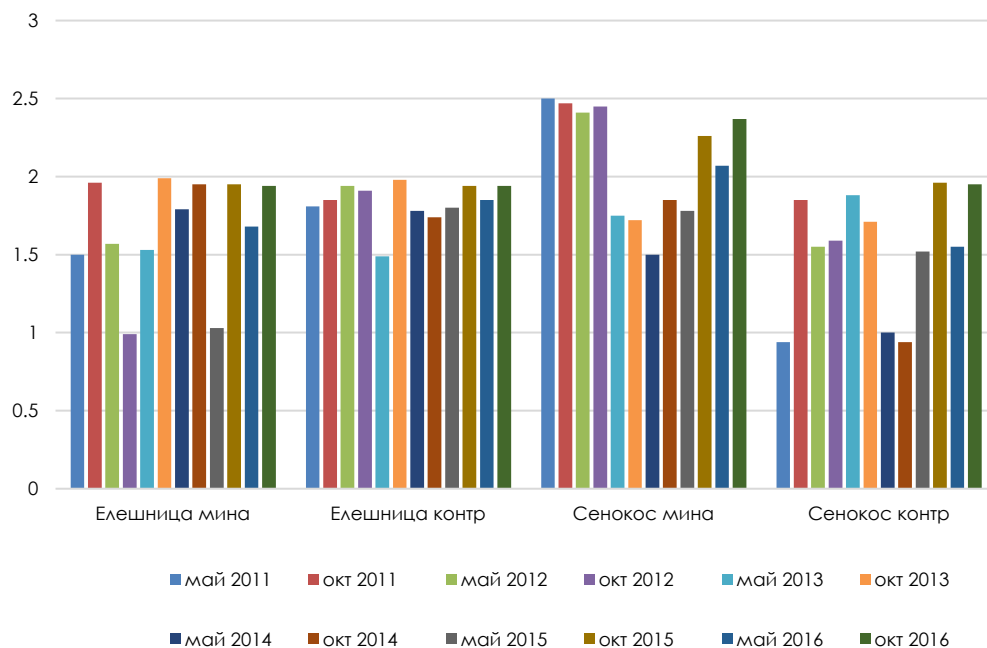


Фиг. 56. Стойности на индекс за изравненост в съобществото (Бухово, Сеславци и Кътина (мина Искра), 2015-2016 година).

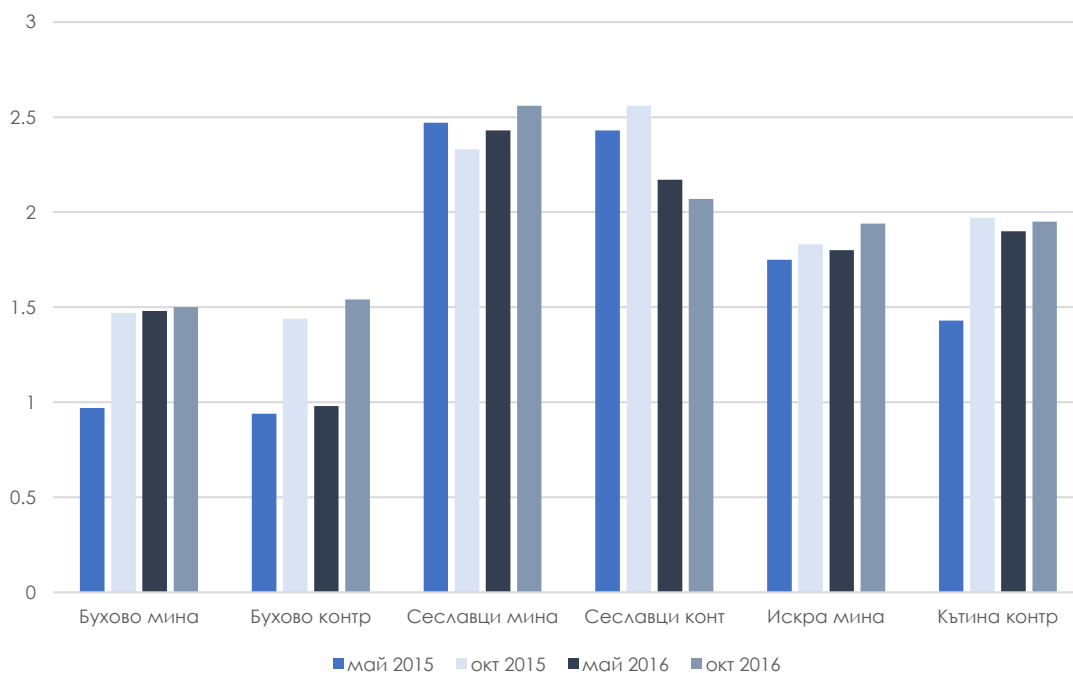
VI.3.4.3. Общ индекс за видово разнообразие (H)

Индексът за видово разнообразие на Shannon-Weaver отчита богатството и равномерността на видовете, поради което може да варира в широки граници. Изчислените стойности на индекса за разнообразие на мините от Югозападна България са между 0,94 (контролен пункт Сенокос, май 2011 година и октомври 2014 година, когато богатството на видовете е много ниско ($S = 2$)) и 2,5 (мина Сенокос, май 2011 година и октомври 2016 година), когато броят на видовете е сравнително висок ($S = 7$), а видовете са представени с почти еднакъв брой индивиди (Фиг. 57). Единственото изключение с малък диапазон между стойностите на разнообразието се наблюдава на контролната площадка на Елешница – от 1,5 до 1,98, което отново потвърждава по-стабилните условия на околната среда в тази пробна площадка.

Стойностите на индекса за видово разнообразие на съобществата от земни червеи в района на мините от Софийското поле варират в по-широки граници от 0,94 (контролен пункт Бухово, май 2015 година) до 2,56 (мина Сеславци, октомври 2016 година и контролен пункт Сеславци, октомври 2015 година). Най-високите стойности, между 2,07 и 2,56, са изчислени за района на Сеславци (мина и контрола), мястото с най-голям брой идентифицирани видове земни червеи за периода на изследване 2015-2016 година (Фиг. 58).



Фиг. 57. Стойности на индекса за видово разнообразие (H) (Елешница и Сенокос, 2011-2016 година).



Фиг. 58. Стойности на индекса за видово разнообразие (H) (Бухово, Сеславци и Кътина (мина Искра), 2015-2016 година).

По-високо разнообразие на съобществата от земни червеи се установява на територията на мини Сенокос и Сеславци (по отношение на по-голям брой видове, представени с почти равен брой индивиди), в сравнение със съответните

им контролни пунктове. За района на останалите пунктове, изглежда, че разнообразието и обилието на видовете са под влияние на много фактори като: характеристики на околната среда, извършени възстановителните дейности след добива на уран и натоварване в различна степен с тежки метали и др.

VI.4. Земните червеи като акумулативни биоиндикатори за замърсяване на почвите с тежки метали

От проведените изследвания се установи завишена концентрация на тежки метали (Ra, Pb и U) в тъканите на представители събрани от пробите от мина Сенокос. Най-високи са стойностите на ²³⁸U в тъканите на лумбрицидите ($2,1 \pm 0,2$ Bq/g). Високи концентрации са регистрирани и за ²²⁶Ra (0051 Bq/g), и Pb (< 0,023), пет пъти над установените в контролата. Само концентрацията на ¹³⁷Cs е без промяна в пробите от района на мината и тези от контролата (Таб. 10).

Таб.10. Акумулация на Cs, Ra, Pb и U в тъканите земни червеи от района на мина и контролен пункт Сенокос (2010)

Проба	Елемент	Ед.мярка	Резултат
Контрола	¹³⁷ Cs		< 0,001
	²¹⁰ Pb	Bq/g	< 0,005
	²²⁶ Ra		< 0,011
	²³⁸ U		< 0,101
Мина	¹³⁷ Cs		< 0,001
	²¹⁰ Pb	Bq/g	< 0,023
	²²⁶ Ra		< 0,051
	²³⁸ U		2,1 ± 0,2

Всеки от изследваните метали (Ra, Pb, U, Cs) показва уникална връзка между концентрациите в телата на лумбрицидите събрани от пробните и от контролните пунктове. При урана разликите в концентрациите са над 20, при Ra и Pb около пет, а при цезия на практика няма разлика между нивата на метала в тъканите на индивидите събрани от района на мината с тези от контролния пункт. Възможните обяснения за това, вероятно са свързани с вида на екологичната група на земните червеи, в т.ч. хранителните предпочитания, пространствената

ниша, както и почвените характеристики. Значение за натрупването на тежки метали има и действителната експозиция на червеите в замърсена среда, както и концентрация на даден метал в почвата.

От екологична гледна точка, получените данни за обща биоаккумуляция на Ra, Pb и U в тъканите на индивиди от семейство Lumbricidae са много важни, защото те показват една средна оценка на интоксикация, която може да се използва в биологичния мониторинг. Тази оценка се явява екологичен индикатор за наличието на замърсяване в почвите (*Karaca et al., 2010; Morgan & Morgan, 1999; van Straalen et al., 2001*).

Това проучване дава важна токсикологична информация, свързана със земните червеи. От една страна показва, че видовете земни червеи участват в натрупването на тежки метали в тъканите, като имат отношение и към очистването на средата в резултат на това. От друга страна характеристиките на почвата със сигурност определят нивата на биоаккумуляция. Резултатите за видовата структура обаче показват и, че замърсяването с метали не е доминиращ фактор, определящ видовото разнообразие и обилие от земни червеи.

Според някои автори, редуциращите органика в почвата организми, както и тези с меки тъкани, като червеите, натрупват тежки метали, в по-високи нива от хищните почвени безгръбначни животни с хитинова обвивка (*Heikens et al., 2001*).

Вероятно по-обширното изследване в тази посока, би разкрило по-добри корелации и би установило по-ясни, общи взаимоотношения между нивата на метали в различни групи лумбрициди и в заобикалящата ги среда. Изследването обаче, показва, че лумбрицидите може успешно да се използват като акумулативни биоиндикатори за замърсяване на почвите с тежки метали.

VI. ОБОБЩЕНИ РЕЗУЛТАТИ И ИЗВОДИ

1. Слабо оформеният хумусен хоризонт, слабата водозадържаща способност и малката мощност на установените глинесто-песъчливи кафяви горски почви в районите на проучваните мини създават неблагоприятни условия за развитие и разпространение на земните червеи, което може да е една от причините за ниското видово разнообразие на лумбрицидните съобщества през целия период на изследване.
2. Установените леко кисели почви, с ниско съдържание на органично вещество в района на мините, са също фактор, който оказва влияние върху структурата на съобществата от земни червеи. Независимо от относителната им толерантност към промените в рН на средата, вероятно земните червеи физиологично не могат да понасят ниско рН или в почвите с ниско рН липсват хранителни вещества, необходими за оцеляването им.
3. Сред изследваните мини, на територията на мина Бухово е установено най-ниското съдържание на ОМ в почвените проби – само 1,8 % средно, като най-ниските стойности на този показател са отчетени през май 2015 година – едва 1,1 %. Това може да е причина за малкия брой видове и индивиди, установени на територията на мината, тъй като максимална плътност на популациите и богато видово разнообразие се установяват при стойности над 2,4 % съдържание на органични вещества в почвата
4. Установените тежки метали в почвените проби от района на Елешница и Сенокос отразяват „фоновото“ въздействие на средата. Основните замърсители в районите на пробовземане и при двете мини са Cd, Cu, Zn и U. Пунктове SPS 22 (Сенокос) и SPS BE (Елешница) са избрани за контролни точки, но се оказа, че са повлияни от замърсяването в района, в резултат от уранодобива. Пунктовете се намират в обработваемите земеделски земи над селата, разположени в близост до мините, а замърсяването, най-вероятно, е причинено от натоварената с U и тежки метали подпочвена вода или е в резултат на ерозия, настъпила при експлоатация на мините, при което големи

количества повърхностен почвен слой са били разпръснати в околните на мините райони.

5. Десет вида (*Allolobophora chlorotica*, *Aporrectodea caliginosa*, *A. trapesoides*, *A. rosea*, *Bimastos rubidus*, *Eisenia fetida*, *Octolasion lacteum*, *Lumbricus rubellus*, *L. terrestris*, *L. meliboues*), принадлежащи към шест рода от семейство Lumbricidae, са идентифицирани по време на целия период на проучване (2011-2016 година) на всички пробни площадки. Установените видове са представени променливо, общото обилие от индивиди е по-високо в контролните участъци. Общи за всички места на пробовземане са видовете: ендегик *A. rosea*, *O. lacteum* (много приспособими и в някои случаи по-способни да оцеляват в условия на остатъци от пестициди и тежки метали) и епигейк – *E. fetida*, които са и единствените представители земни червеи открити в района на Бухово. Всички те принадлежат към широко разпространени родове от семейството на земните червеи, които са числено доминиращи в обработваеми земи, агро-екосистеми и други екосистеми със значително антропогенно въздействие върху почвите. Таксоните са космополитни поради тяхната висока адаптивност и широка толерантност към много от факторите на околната среда
6. Установени са локални различия по отношение на въздействието на уранодобивните дейности в ликвидирани уранови мини върху съобществата от земни червеи. Малко по-високите стойности на таксономично богатство на територията на 2 от мините, донякъде „маскира“ негативното им въздействие върху лумбрицидните съобщества.
7. Съобществата от лумбрициди се характеризират със сравнително ниски стойности на индекса за видово разнообразие и високи стойности на индекса за доминиране (мини Бухово и Сенокос). Сравнително постоянните стойности на структурните параметри в част от пробните площадки (Елешница) предполагат постоянство и в екологичните условия в почвата там. Резултатите от мина Бухово показват най-редуциран видов състав и численост. Въздействието на урановите мини в определени периоди се преодолява от съобществата чрез адаптивни механизми. В периоди на допълнителни

отрицателни въздействия (физико-химичните параметри на средата) обаче се отчита влошаване на общата характеристика на съобществата.

8. Резултатите от изследванията на акумулацията на тежки метали в тъканите на земните червеи от пробните площадки показват завишени концентрации (особено на ^{238}U), в сравнение с пробите на организми от контролния пункт. Най-високи са стойностите на ^{238}U в тъканите на лумбрицидите ($2,1 \pm 0,2 \text{ Bq/g}$). Високи концентрации са регистрирани и за ^{226}Ra ($0,051 \text{ Bq/g}$), и Pb ($< 0,023$), пет пъти над установените в контролата. Само концентрацията на ^{137}Cs е без промяна в пробите от района на мината и тези от контролата.
9. Продължителното и относително ниско замърсяване на почвата в района на мините е довело до възникване на адаптирани към местната среда лумбрицидни съобщества. Способността за преодоляване на стреса от наличието на тежки метали в почвите, дава възможност на земните червеи да се срещат в районите на урановите мини, но в редуциран видов състав и обилие.
10. Въпреки, че работата не отчита пряк неблагоприятен (летален) ефект от замърсяване с тежки метали върху лумбрицидите, повдига въпроса могат ли засегнатите от уранодобива екосистеми да предоставят оптималните условия за развитие на тази група организми, а от там и на всички други, трофично свързани с тях? Поради ограничения брой проучвания по темата е необходима допълнителна работа, която да допринесе за развиване на познанията по този въпрос.

Работата отчете и някои пропуски по отношение на проведените дейности по ремедиация на изследваните ликвидирани мини, а именно:

- При част от обектите липсват предупредителни знаци в района на мините и обяснителна кампания сред местното население.
- На места ликвидацията и рекултивацията на мините са компрометирани, поради недостатъчната техническа поддръжка на съществуващите съоръжения.

VII. ПРИНОСИ

1. Проведено е комплексно изследване на почви в районите на пет ликвидирани уранови мини в България (ураново находище село Елешница; уранова мина „Сенокос“, село Сенокос; мини „Бухово“ (хвостохранилища Бухово и щолна 82 - Сеславци) и уранова минна област „Искра“, село Кътина) като са определяни физико-химични и биологични показатели.
2. За първи път в България е направено изследване на съобществата на една от най-обилно представените групи почвени безгръбначни животни – земните червеи, в райони, повлияни от уранодобивната дейност.
3. Установен е видовият състав и е характеризирана видовата структура на лумбрицидните съобщества в изследваните райони в периода 2011 – 2016 година.
4. Потвърждават се наличните литературни данни за възможността лумбрицидите да бъдат използвани като акумулативни индикатори при провеждането на биологичен мониторинг на почвите.
5. Изследването допринася за обогатяване на данните за видовете земни червеи, разпространени в България.

Списък на публикациите във връзка с дисертацията

1. Bogoev, A. Kenarova, I. Traykov, R. Tzonev, **R. Tsekova**, T. Stoyanova, S. Boteva & N. Parleva, 2010: Natural Communities of Uranium Mining Impacted Area in the Vicinity of the Senokos Village. Second Balkan Conference on Biology, Biotechnol. & Biotechnol. EQ.SE/on-line 24: 240-246.
2. **R. Tsekova** & V. Bogoev, 2010: Bioaccumulation of Cs, Ra, Pb and U in Tissues of the Terrestrial Invertebrates (Lumbricidae and Julidae) Collected from Liquidated Uranium Mine, *Natura Montenegrina*, Podgorica 9(3): 607-614.
3. **R. Tsekova**, A. Kenarova, V. Bogoev & S. Boteva, 2014: Impact of uranium mining activities on soil bacterial and Lumbricidae communities inhabiting the mining area. *Eologica Montenegrina ISEM6*, ISSN 2336-9744, Montenegro.
4. **R. Tsekova** & R. Lozev, 2017: The earthworm study from closed uranium mining facilities in Buhovo Region, Bulgaria. *Proceedings ISEM7*, p.145 – 152.

5. **R. Tsekova** & L. Sakelarieva. Species structure of the earthworm communities (Lumbricidae) in the grounds of two liquidated uranium mines (Senokos & Eleshnitsa) in Bulgaria. *Ekologia Balkanica*, 2019, Special edition 2, p.165-179.
6. **R. Tsekova**, L. Sakelarieva & E. Varadinova, 2020: Impact of Uranium Mining Activities in Two Abandoned Mines (Western Bulgaria) On Some Parameters of The Earthworm Communities. *(in progress)*.

Участия в конференции с материали по темата на дисертацията:

1. IV International Symposium of Ecologists of the Republic of Montenegro, Budva, 2010.
2. V International Symposium of Ecologists of the Republic of Montenegro, Tivat, 2013.
3. VII International Symposium of Ecologists of the Republic of Montenegro, Sutomore, 2017.
4. VIII Международна конференция „FMNS 2019“ (ПМФ-2019, Съвременни тенденции в науката), Благоевград.

Бих искала да изкажа своите сърдечни благодарности на научния ми ръководител доц. д-р. Лидия Сакелариева за търпението, огромната помощ, подкрепата, съветите и напътствията по време на съвместната ни работа!

Благодаря на всички колеги от катедра ГЕООС за съветите и насоките при обучението ми като докторант, за отношението и приятната работна атмосфера!

Благодаря на всички колеги и приятели от Биологически факултет към СУ за помощта при извършването на голяма част от работата по дисертацията.

Огромни благодарности и на семейството ми, като неизменна част от всичко по реализирането на този труд!

На Майра, че беше до мен!