



ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ
ФАКУЛТЕТ „ГОРСКО СТОПАНСТВО“
КАТЕДРА „ПОЧВОЗНАНИЕ“



РОСИЦА ЦВЕТКОВА ПЕТРОВА

**ВЛИЯНИЕ НА ГЕОЛОГО-ПРОУЧВАТЕЛНИТЕ
И ДОБИВНИ ДЕЙНОСТИ НА УРАНОВА РУДА
ВЪРХУ ПОЧВИ ОТ ГОРСКИТЕ ТЕРИТОРИИ
В БЪЛГАРИЯ**

АВТОРЕФЕРАТ

**на дисертационен труд
за присъждане на научна степен „доктор на науките“**

**НАУЧНА СПЕЦИАЛНОСТ
„ЕКОЛОГИЯ И ОПАЗВАНЕ НА ЕКОСИСТЕМИТЕ“**

Рецензенти: проф. д.н. Людмила Димитрова Малинова
проф. д-р Мартин Димитров Банов
проф. д-р Венета Найденова Кръстева

**София
2017**

Дисертационният труд съдържа 908 страници текст, 448 фигури, 150 таблици и 23 снимки. Списъкът на използваната литература включва 608 заглавия, от които 251 на кирилица и 357 на латиница.

Защитата на дисертационния труд ще се състои на 31.10.2017 г. от 13:00 часа в зала №4, сграда А на Лесотехническия университет, гр. София, бул. Климент Охридски №10 на открито заседание на научно жури, утвърдено със заповед №369 от 29.06.2017 г. на ректора на Лесотехническия университет в състав:

Председател:

проф. д.н. Людмила Димитрова Малинова – Лесотехнически университет

Членове:

проф. д-р Дилянка Иванова Безлова – Лесотехнически университет

проф. д-р Мартин Димитров Банов – ИПАЗР

проф. д-р Венета Найденова Кръстева – ИПАЗР

проф. дн Стефан Сотиров Димовски – МГУ „Св. Иван Рилски“

доц. д-р Екатерина Иванова Тодорова – Лесотехнически университет

доц. д-р Анатолий Цанков Ангелов – МГУ „Св. Иван Рилски“

Материалите по защитата са на разположение на интересуващите се в деканата на факултет „Горско стопанство“, стая 223, сграда А на Лесотехническия университет, гр. София, бул. Климент Охридски №10 и на сайта на университета (www.ltu.bg).

1. АКТУАЛНОСТ НА ПРОБЛЕМА

В световен мащаб добивът и преработката на уранова руда датират от началото на миналия век. Оценката „стратегическа”, която суровината получава след края на Втората световна война, налага засиленото ѝ търсене и предлагането ѝ. Необходимостта от суровинни ресурси за ядрената промишленост е причината за нарушаване на значителни по площ територии по всички краища на света.

Добивът на уран, използвайки конвенционалния открит и подземен способ за изземване на рудата и преработката ѝ за извличане на урана, генерира големи обеми твърди и течни отпадъци, съхраняването на които се извършва на табани/насипища и хвостохранилища. В България за периода 1938 – 1989 г. са експлоатирани над 40 добивни обекта и два хидрометалургични завода. Генерирани са над 20 млн. t отпадъци, акумулирани в три хвостохранилища и около 300 табана. Концентрациите на замърсителите в почвите при повечето находища и рудопроявления са рискови, като терените попадат в клас C и ползването им за каквито и да е стопански цели е възможно само след съответни мелиорации.

В света прилаганите мероприятия за саниране и рекултивация на такъв тип нарушени земи са регламентирани с нормативни документи и са диференцирани в зависимост от прилагания способ за добиване на суровината и нанесените щети на околната среда (Juhasz and Erdi-Krausz, 1996).

Последствията от провежданите добивни работи в България поради голямата давност (над 50 г.) са в разрез с действащото екологично законодателство. При нито един от бившите обекти на уранодобивната промишленост не се контролират настъпващите промени в качествения състав на депонираните материали с оглед тяхната класификация. Не се изпълняват с години изготвените и приети от МИЕ проектни разработки за рекултивация на нарушените терени.

2. ЦЕЛ И ЗАДАЧИ

Целите на дисертационния труд са:

- Характеристика и анализ на статуса на техногенни почви, формирани след провеждане на геолого-проучвателни работи и добив на уранова руда в горски територии в България. Определяне на рисковите, за околната среда и човешкото здраве, фактори за миграция на замърсителите и възможностите за рекултивация.

- Разработване на примерни технологии за рекултивация, съобразени с риска.

За изпълнение на поставените цели е потърсено решението на следните **задачи**:

1. Изясняване на спецификата на техногенните почви, чрез определяне средната активност с граници на вариране на естествени радионуклиди (^{238}U ; ^{226}Ra ; ^{232}Th ; ^{40}K ; α - и β -активност) и съпътстващите ги тежки метали и металоиди, като критерии за разграничаване на техногенното въздействие от това, формирано в резултат на естествено протичащи почвообразователни процеси при ненарушените от човешка дейност почви.

2. Изясняване на спецификата на зоналните почви в районите на изследване, чрез определяне средната активност с граници на вариране на естествени радионуклиди (^{238}U ; ^{226}Ra ; ^{232}Th ; ^{40}K ; α - и β -активност) и съпътстващите ги тежки метали и металоиди, като критерии за сравняване по почвени типове и разграничаване ролята на почвообразуващата скала.

3. Изясняване на спецификата на производствената дейност, използваната технология, продължителността на експлоатация на отделните рудници и находища и експонирането на отпадните продукти върху земната повърхност.

4. Анализ и оценка на условията и рисковите фактори, които оказват влияние за разсейването и транслокацията на замърсителите в процесите на изветряне и начално почвообразуване: климат; релеф; интензивност на изветряне, в т.ч.: петрографски особености и минерален състав; оксиден състав; зърнометричен и механичен състав; активна киселинност; съдържание на органичен въглерод; акумулация на естествени радионуклиди и тежки метали в съществуващата растителност.

5. Създаване база данни за натоварването на средата с естествени радионуклиди и съпътстващите ги тежки метали за почви от горските територии на страната, която да послужи за създаване на теоретична основа за решаване на въпросите за мониторинг на протичащите процеси, оценка на риска за околната среда и бъдещата рекултивация.

6. Възможности за рекултивация на техногенни почви, формирани след добива на уранова руда.

3. МЕТОДИ НА РАБОТА

1. Радиологична характеристика – определена е активността на естествени радионуклиди в рудовместващите скали, формираните техногенни почви и утайки, и зоналните почвени типове в районите на изследване. Ползвана е архивна документация с първични резултати от извършените за обектите радиоecологични оценки и прогнози от Националния център за радиационна защита (НЦРЗ) и ДИАЛ, както и резултати от собствени изследвания.

Изчислен е концентрационният коефициент. Съдържанието на естествени радионуклиди в *техногенни почви* е определено на база: 157 бр. проби от 8 обекта, разположени в Старопланинския масив; 92 бр. проби от 10 обекта, разположени в Рило-Родопския планински масив и 38 бр. проби от 4 обекта, разположени в Трънско Краище. Съдържанието на естествени радионуклиди в зонални почвени типове е определено на: 50 бр. проби от района на 8 обекта от Старопланинския масив; 92 бр. проби от района на 10 обекта от Рило-Родопския планински масив; 18 бр. проби от района на 4 обекта, разположени в Трънско Краище.

2. Съдържание на тежки метали и металоиди (Cu, Zn, Pb, Cd, As, Co, Ni, Mn, Fe) – общи форми чрез екстракция с царска вода и мобилни форми (техногенни почви от участък „V шахта”) чрез екстракция с 1M CH₃COONH₃ с pH 4,85. Изчислен е концентрационният коефициент, изразяващ степента на замърсяване на почвите. Съдържанието на тежки метали и металоиди в *техногенните почви* е определено на база: 207 бр. проби от 8 уранодобивни обекта, разположени в Старопланинския масив; 92 бр. проби от 10 обекта, разположени в Рило-Родопския планински масив и 38 бр. проби от 4 обекта, разположени в Трънско Краище. Съдържанието на тежки метали и металоиди в *зоналните за всеки обект почви* е определено на база: 23 бр. проби от 8 уранодобивни обекта, разположени в Старопланинския масив; 64 бр. проби от 10 уранодобивни обекта, разположени в Рило-Родопския масив; 18 бр. проби от 4 обекта, разположени в Трънско Краище.

3. Интензивност на изветряне и миграция на замърсителите – определена е с:

- Микроскопски шлифов анализ на скални образци от избрани обекти взети през 1996 и 2011 г; рентгеноструктурен анализ (РТА), термичен анализ (ТА) и рентгенофлуорисцентен силикатен анализ. Анализирани са проби от избрани обекти от Старопланинския и Рило-Родопския планински масив, взети през 1996 и 2011 г.

- Оксиден състав и настъпващи промени в него на проби от 1996 и 2011 г.; моларни съотношения и индекси на изветряне. Изследванията са извършени в лаборатория „Минераложки изследвания” при ЕООД „Лабораторни геоложки изследвания” през 1996 г. и „ЕВРОТЕСТ Контрол” АД през 2011 г.

- Състав на дренажните води – метод на лизиметричните хроматографски колонки, който съчетава лизиметричните и хроматографските способности за изучаване на почвения разтвор (Кауричев и Ноздрунова, 1960).

4. Фактори, влияещи на поведението на замърсителите, в т.ч.: климатични и релефни особености, зърнометричен състав на техногенните почви,

механичен състав на ситнозема и химични свойства (активна киселинност и съдържание на органичен въглерод):

Климатични показатели – използвана е горско-климатичната информационна система за България (Божинов и Николов, 1993).

Зърнометричен състав. На образци от чакълестата фракция на насипните субстрати са извършени физико-механични изследвания в „Лабораторни изследвания” ООД и „ЕВРОТЕСТ Контрол” АД, съответно през 1996 и 2011 г. Ползвани са следните стандарти: БДС 11484:1986 г.; БДС 647:1983 г.

Механичен състав на ситнозема – определен е по метода на Качински;

Реакция на почвения разтвор – ISO 10390. Класификацията е направена по Пенков (1996);

- **Органичен въглерод, %** – модифициран метод на Тюрин. Оценката е направена по Forest Soil Condition Report (1997).

5. Листен анализ – определено е съдържанието на естествени радионуклиди, тежки метали и металоиди в естествено срещаща се растителност в района на обектите. Определени са: трансферен коефициент (Кт), коефициент на биологично поглъщане (K_{bn}) и ред на биологичното поглъщане (Полинов, 1944; Перельман, 1966).

6. Статистическа и математико-статистическа обработка на данните – използвана е Statistical10; Excel 10.

4. ОБЕКТИ

Обекти на изследване са: техногенни почви, формирани след подземен и открит добив на уранова руда и зонални почвени типове и дънни утайки от прилежащи дерета и реки в района на 30 находища и рудопроявления в горските територии на България (Старопланински масив, Рило-Родопски масив и Трънско Краище).

5. РЕЗУЛТАТИ. РАДИОЛОГИЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА

5.1. Обекти от Старопланинския масив

Техногенни почви

Определена е средната активност на естествени радионуклиди (^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K), α - и β -активност на техногенни почви, формирани след търсещо-проучвателни и добивни работи на уранова руда на територията на 8 обекта от Старопланинския масив, разположени при различни локални геоложки, климатични, почвени и други условия.

Установено е силното вариране на отделни радионуклиди и значимо превишаване на средните активности на зоналните почвени типове в съответните райони.

Установените концентрационни коефициенти (табл. 5.1-1) характеризират техногенните почви като: **опасно замърсени (Кк > 5)** с: ^{238}U – при 50% от обектите; ^{226}Ra – 75% от обектите; ^{232}Th – 12% от обектите и ^{40}K – 12% от обектите; **силно замърсени (Кк = 3 – 5)** с: ^{238}U – 38% от обектите; ^{226}Ra – 25% от обектите; ^{232}Th – 12% от обектите; ^{40}K – 12% от обектите; **средно замърсена (Кк = 2 – 3)** с: ^{238}U – 12% от обектите; ^{226}Ra – 12% от обектите; ^{232}Th – 12% от обектите; **слабо замърсени (Кк = 1 – 2)** с: ^{238}U – 25% от обектите; ^{226}Ra – 12% от обектите; ^{232}Th – 75% от обектите; ^{40}K – 12% от обектите.

Таблица 5.1-1. Стойности на концентрационните коефициенти (Кк) – техногенни почви от Старопланинския масив

Техногенни почви	Кк ^{238}U	Кк ^{226}Ra	Кк ^{232}Th	Кк ^{40}K
БРП - V шахта - Източни	3.83	8.12	1.04	0.80
БРП - V шахта - Западни	3.03	5.13	7.81	0.08
Борче	2.32	2.25	1.15	1.01
Искра - подземен добив	4.81	4.86	2.20	4.40
Искра - открит добив	14.06	8.39	3.04	8.64
Балкан	28.77	69.89		
Рибарица	22.41	47.38	1.19	0.80
Сборище	8.88	15.91	1.63	0.99
Сборище - Кичеста	1.81	4.21	1.31	1.09
Яворовец	1.91	1.63	0.43	0.37
Сливен	3.72	7.05	1.14	0.88

Легенда:

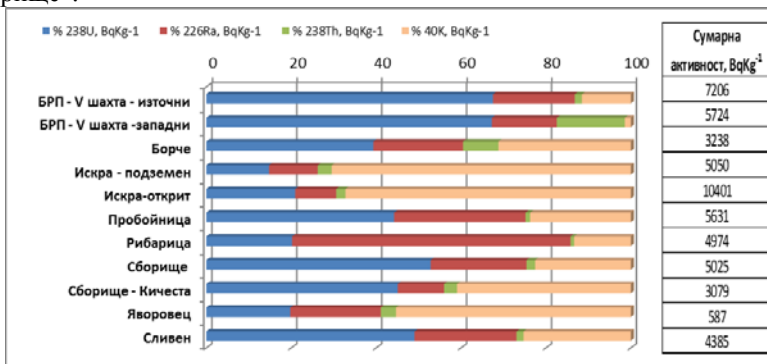
незамърсена	< 1
слабо замърсена	1 - 2
средно замърсена	2 - 3
силно замърсена	3 - 5
опасно замърсена	> 5

Въздействието от провежданата добивна дейност е доказано с:

- наличие на статистическа разлика в средните съдържания на естествени радионуклиди (^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K), α - и β -активност в техногенните почви и зоналните почвени типове, както следва: ^{238}U – рудник „Рибарица“; ^{226}Ra – участък „Искра“ и рудник „Рибарица“; ^{232}Th – участък „V шахта“ – западни табани, участък „Искра“ и рудник „Сливен“; α -активност – участък „Искра“;
- промяна в посока нарастване в участието на общата радиоактивност (в

сравнение със зоналните почвени типове) на: ^{238}U и ^{226}Ra (фиг. 5.1-1) при техногенните почви;

- транслокация на замърсителите (^{238}U и ^{226}Ra) по водноерозионен път с повърхностния отток в дънните утайки на рудници: „V шахта”, „Курило” – участък „Искра”, „Сборище” – участъци „Сборище” и „Кичеста” и ^{232}Th в дънните утайки на рудници „Курило” – участък „Искра” и „Сборище” – участък „Сборище”.



Фиг. 5.1-1. Процентно участие на активността на ^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th и ^{40}K от общата активност на техногенните почви от Старопланинския масив

Доказано е наличието на линейни връзки в изследваните почви между: *съдържанието на естествени радионуклиди; съдържанието на естествени радионуклиди и pH; съдържанието на естествени радионуклиди и органичен въглерод; съдържанието на естествени радионуклиди и тежки метали.*

Установени са зависимости между *съдържанието на естествени радионуклиди и механичния състав.*

Установени са някои специфични закономерности в разпределението на радионуклидите в границите на изследваната дълбочина:

– увеличаване на концентрациите на ^{238}U при техногенните почви, резултат на: протичащи активни процеси на изветряне и дезинтеграция на депонираните скални субстрати, транспорт на рушивните продукти на изветрянето с инфилтрираните атмосферни води с протичащи процеси на излужване на ^{238}U и акумулирането му в дълбочина (Буховско рудно поле (БРП) – участъци „V шахта” и „Борче”, рудник „Балкан”, рудници „Яворовец”, „Сборище” и „Сливен”);

– намаляване на концентрациите на ^{238}U при техногенните почви от табаните, резултат на протичащи активни повърхностни процеси на изветряне и

оставяне (без транспорт) на рушивните продукти на изветрянето на място (рудник „Курило” – участък „Искра” и рудник „Рибарица”);

– зависимост на концентрациите на ^{232}Th и ^{40}K от литоложкия състав на депонираните скални субстрати.

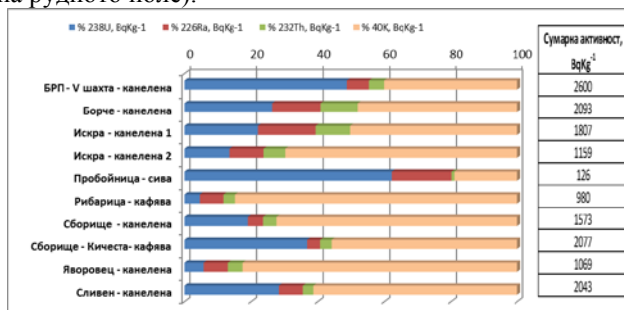
Определени са средните стойности на наблюдаваните съотношения $^{226}\text{Ra}/^{238}\text{U}$; $^{226}\text{Ra}/^{40}\text{K}$; $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ при техногенни почви, зонални почви и дънни утайки.

Определени са специфични радиологични показатели, разкриващи радиологичния риск от техногенните почви.

Ненарушени зонални почви

Определено е средното съдържание на естествени радионуклиди (^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , α - и β -активност) в зоналните почви от района на всеки обект, формирани при различни локални геоложки и климатични условия.

Доказан е завишеният педогенен фон (фиг. 5.1-2) за някои от изследваните естествени радионуклиди в зоналните почви: ^{238}U – в канелени горски почви – участък „V шахта” – източни и западни табани, участък „Борче”, участък „Искра” (в границите на рудното поле), участък „Сборище” и рудник „Сливен”; ^{226}Ra – в канелени горски почви от района на: участък „V шахта” – източни и западни табани; участък „Борче” и участък „Искра” (в границите на рудното поле); ^{232}Th – в канелени горски почви от района на: участък „Борче” и участък „Искра” (в границите на рудното поле); ^{40}K – в сива горска почва (рудник „Балкан”) и в канелена горска почва от района на рудник „Сливен”; α - и β -активност – в канелени горски почви от района на участък „Искра” (в границите на рудното поле).



Фиг. 5.1-2. Процентно участие на активността на ^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th и ^{40}K от общата активност на зоналните почви от Старопланинския масив

Legenda: Искра – канелена 1 – канелена горска в границите на рудната зона;
Искра – канелена 2 – канелена горска извън границите на рудната зона

Определен е радиологичният риск при зоналните почви от територията на обектите.

5.2. Обекти от Рило-Родопския планински масив

Техногенни почви

Определена е средната активност на естествени радионуклиди (^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K), α - и β -активност на техногенни почви, формирани след търсещо-проучвателни и добивни работи на уранова руда на територията на 18 обекта от Рило-Родопския масив, разположени при различни локални геоложки, климатични, почвени и други условия.

Доказано е силното вариране на отделни радионуклиди при някои от обектите и значимо превишаване на средните активности на зоналните почвени типове в съответните райони.

Доказано е, че (табл. 5.2-1) техногенните почви са: **опасно замърсени (Кк > 5)** с: ^{238}U – при 78% от обектите; ^{226}Ra – 72% от обектите; ^{232}Th – 11% от обектите; **силно замърсени (Кк = 3 – 5)** с: ^{238}U – 11% от обектите; ^{226}Ra – 11% от обектите; ^{40}K – 5,5% от обектите; **средно замърсена (Кк = 2 – 3)** с: ^{238}U – 11% от обектите; ^{226}Ra – 11% от обектите; ^{232}Th – 16,6% от обектите; **слабо замърсени (Кк = 1 – 2)** с: ^{232}Th – 27,8% от обектите; ^{40}K – 67% от обектите.

Установено е въздействието от провежданата добивна дейност с:

- наличие на доказана разлика в средните съдържания на естествени радионуклиди (^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K), α - и β -активност в техногенните почви и зоналните почвени типове както следва: ^{238}U (рудник „Бели Искър”, рудник „Беслет“, участък „Калъч борун“, рудник „Селище“, рудник „Елешница“ и рудник „Добролък“; ^{226}Ra – рудник „Скребатни поляни”, рудник „Селище“, рудник „Елешница“, рудник „Добролък“ и рудник „Наречен“; ^{232}Th – рудник „Бели Искър”, рудник „Партизанска поляна“, участък „Калъч борун“, участък „Кара тепе“, рудник „Селище“, рудник „Прътевото“, рудник „Здравец“, рудник „Добролък“, рудник „Наречен“ и рудник „Планинец“; ^{40}K – рудник „Белмекен“, участък „Кара тепе“ и рудник „Здравец“; α - и β -активност – участък „Калъч борун“, участък „Кара тепе“ и рудник „Елешница“;

- промяна в посока нарастване в участието на общата радиоактивност (в сравнение със зоналните почвени типове) на: ^{238}U и ^{226}Ra при техногенните почви от всички обекти; на ^{232}Th – при техногенните почви от „Кара тепе“, „Наречен“ и „Здравец“ (фиг. 5.2-1);

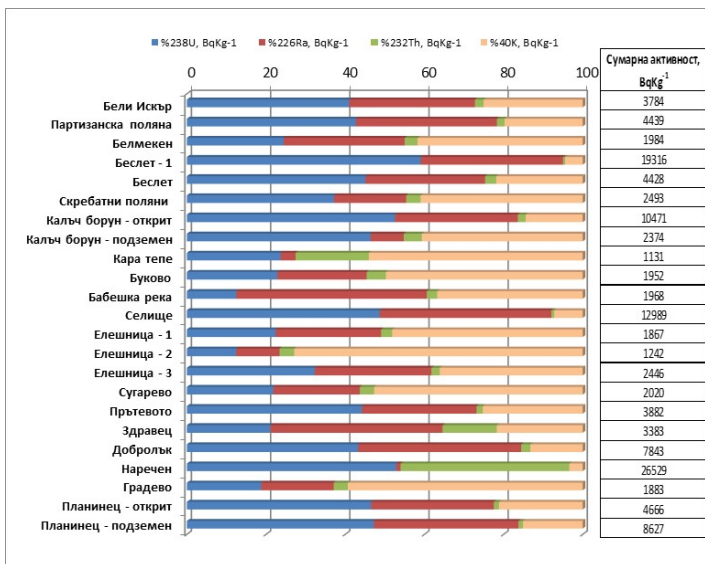
Таблица 5.2-1. Стойности на концентрационните коефициенти (Кк) – техногенни почви от Рило-Родопския масив

Обект	Техногенни почви	Кк ^{238U}	Кк ^{226Ra}	Кк ^{232Th}	Кк ^{40K}
Бели Искър	Техн. Почви - ПД	30.32	19.14	1.41	0.95
Партизанска поляна	Техн. Почви - ПД	11.86	13.49	1.32	1.06
Белмекен	Техн. Почви - ПД	3.06	6.84	0.82	1.42
Беслет	Техн. Почви - ПД	54.87	33.44	0.85	0.95
Беслет	Техн. Почви - ПД	9.62	6.44	0.96	1.07
Скробатни поляни	Техн. Почви - ПД	22.03	10.84	1.00	0.97
Калъч борун	Техн. Почви - ОД	327.50	37.37	2.96	1.63
Калъч борун	Техн. Почви - ПД	3.36	2.29	1.52	1.04
Кара тепе	Техн. Почви - ПД	1.18	0.71	0.84	0.86
Буково	Техн. Почви - ПД	6.11	7.09	1.36	1.23
Бабешка река	Техн. Почви - ПД	1.80	3.41	0.90	0.92
Селище	Техн. Почви - ПД	71.85	73.62	2.40	1.55
Елешница	Техн. Почви - ПД	5.74	7.95	0.99	1.30
Елешница	Техн. Почви - ПД	2.12	2.17	0.86	1.31
Елешница	Техн. Почви - ПД	10.84	11.52	0.97	1.27
Сугарево	Техн. Почви - ПД	5.88	7.13	0.71	1.09
Прътевото	Техн. Почви - ПД	17.41	14.06	0.72	1.04
Зравец	Техн. Почви - ПД	2.63	14.41	2.33	1.46
Добролък	Техн. Почви - ПД	161.57	136.49	7.86	3.50
Наречен	Техн. Почви - ПД	199.53	3.81	186.39	0.97
Градево	Техн. Почви - ПД	6.67	6.89	0.95	1.11
Планинец	Техн. Почви - ОД	35.02	21.59	1.12	0.85
Планинец	Техн. Почви - ПД	65.72	47.04	1.82	1.12

Легенда: ПД – подземен добив; ОД – открит добив

Легенда:

незамърсена	< 1
слабо замърсена	1 - 2
средно замърсена	2 - 3
силно замърсена	3 - 5
опасно замърсена	> 5



Фиг. 5.2-1. Процентно участие на активността на ²³⁸U, ²²⁶Ra, ²³²Th и ⁴⁰K от общата активност на техногенните почви от Рило-Родопския масив

- транслокация на замърсителите (²³⁸U и ²²⁶Ra) по водноерозионен път с повърхностния отток в дънните утайки на рудници: „Партизанска поляна”, „Беслет”, участък „Кара тепе” (²²⁶Ra), „Селище”, „Сугарево”, „Прътевото”, „Здравец” и „Наречен” (²³⁸U);

- транслокация на замърсителите (²³²Th и ⁴⁰K) по водноерозионен път с повърхностния отток в дънните утайки на: участък „Кара тепе” (²³²Th); рудници „Селище”, „Сугарево” и „Здравец” (²³²Th и ⁴⁰K); рудник „Наречен” (⁴⁰K).

Доказани са корелационни зависимости в изследваните почви между: съдържанието на естествени радионуклиди; съдържанието на естествени радионуклиди и pH; съдържанието на естествени радионуклиди и органичен въглерод.

Установени са зависимости между съдържанието на естествени радионуклиди и механичен състав;

Доказани са зависимости между съдържанието на естествени радионуклиди и тежки метали.

Установени са специфични закономерности в разпределението на радионуклидите в границите на изследваните дълбочини:

– увеличаване на концентрациите на ^{238}U и ^{226}Ra при техногенните почви от табаните, резултат на: протичащи активни процеси на изветряне и дезинтеграция на депонираните скални субстрати, транспорт на рушивните продукти на изветрянето с инфилтрираните атмосферни води с излужването на ^{238}U и акумулиране в дълбочина (рудник „Бели Искър”, участък „Кара тепе”, рудник „Бабешка река”, рудник „Селище”, рудник „Сугарево”, рудник „Прътевото”, рудник „Здравец” и рудник „Добролък”);

– намаляване на концентрациите на ^{238}U и ^{226}Ra при техногенните почви от табаните, резултат на протичащи повърхностни активни процеси на изветряне и оставяне (без транспорт) на рушивните продукти на изветрянето на място (рудник „Партизанска поляна”, рудник „Белмекен”, рудник „Беслет”, участък „Калъч борун”);

– зависимост на концентрациите на ^{232}Th и ^{40}K от литоложкия състав на депонираните скални субстрати.

Определени са средните стойности на наблюдаваните съотношения $^{226}\text{Ra}/^{238}\text{U}$; $^{226}\text{Ra}/^{40}\text{K}$; $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ при техногенните почви.

Определени са специфични радиологични показатели, доказващи риска от техногенните почви от територията на обектите.

Ненарушени зонални почви

Определено е средното съдържание на естествени радионуклиди (^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , α - и β -активност) в зоналните почви от района на всеки обект, формирани при различни локални геоложки и климатични условия.

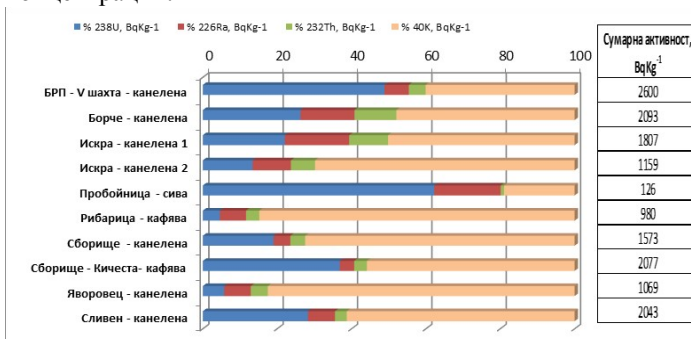
Установено е, че средните концентрации на ^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , α - и β -активност в зоналните почви са значимо по-високи от:

- приетите от МОСВ референтни стойности за почвите в България както следва: ^{238}U – в кафяви горски почви (участък „Калъч борун”; рудник „Селище” – сондажно поле и в границите на рудната зона; рудник „Сугарево”); ^{226}Ra – в кафяви горски почви (рудник „Партизанска поляна”; рудник „Беслет”; рудник „Селище” – сондажно поле; рудник „Добролък”); ^{232}Th – в кафяви горски почви от района на: рудник „Беслет”; участъци „Калъч борун” и „Кара тепе” и рудник „Здравец”, в канелена горска почва от зелените площи на с. Елешница; ^{40}K – в кафяви горски почви от района на участък „Калъч борун”; от района на рудник „Скребатни поляни”;

- приетите средни активности за почвите в България (UNSCEAR, 2000). Изключение правят установените средни концентрации на: ^{226}Ra – в кафява горска почва.

Доказан е завишен педогенен фон за някои от изследваните естествени радионуклиди (^{40}K , ^{238}U , ^{226}Ra и ^{232}Th) в зоналните почви (фиг. 5.2-2);

Установено е, че средната активност на ^{238}U и ^{226}Ra в зоналните почви от района на три обекта (рудници „Добролък”, „Наречен” и „Елешница”), които се ползват като обработваеми земи, превишава праговите концентрации за ^{238}U и ^{226}Ra (Инструкция РД ...МЗ, 1994), но остава под посочените нива за рискови концентрации.



Фиг. 5.2-2. Процентно участие на активността на ^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th и ^{40}K в общата радиоактивност при зоналните почви от Рило-Родопския планински масив

Определени са средните стойности на наблюдаваните съотношения $^{226}\text{Ra}/^{238}\text{U}$; $^{226}\text{Ra}/^{40}\text{K}$; $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ при зоналните почвени типове.

Определени са специфични радиологични показатели, определящи радиологичния риск за зоналните почви от територията на обектите.

5.3. Обекти от Трънско Краище

Техногенни почви

Определена е средната активност на естествени радионуклиди (^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K), α - и β -активност на техногенни почви, формирани след добивни работи на златна руда и търсещо-проучвателни работи на уранова руда на територията на 4 обекта от Трънско Краище, разположени при различни геоложки и еднакви почвени условия.

Установено е: статистически силното вариране на отделни радионуклиди и значимо превишаване на средните активности на зоналния почвен тип в района.

Доказано е, че техногенните почви са: **опасно замърсени (Кк > 5)** с: ^{226}Ra – 25% от обектите; **силно замърсени (Кк = 3 – 5)** с: ^{238}U – 50% от обектите; ^{226}Ra – 25% от обектите; **средно замърсена (Кк = 2 – 3)** с: ^{226}Ra – 25% от

обектите; **слабо замърсени (Кк = 1 – 2)** с: ^{238}U – 75% от обектите; ^{226}Ra – 50% от обектите; ^{232}Th – 75% от обектите; ^{40}K – 75% от обектите (табл. 5.3-1).

Въздействието от провежданата добивна дейност е установено с:

- наличие на статистически доказана разлика в средната активност на естествени радионуклиди (^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K), α - и β -активност на кафявата горска почва и техногенните почви както следва: ^{238}U – участък „Крушев дол” –открит добив, табани и хвостохранилище; ^{226}Ra – участък „Крушев дол” –открит добив, табани открит и подземен добив и хвостохранилище; участък „Злата” (кафява горска извън рудната зона); ^{232}Th – участък „Крушев дол” – табани открит и подземен добив, участък „Злата” (кафява горска във и извън границите на рудната зона); ^{40}K – участък „Крушев дол” – табани открит добив; участък „Злата” (кафява горска в границите на рудната зона); участък „Кръстатото дърво”;

Таблица 5.3-1. Стойности на концентрационните коефициенти (Кк) – техногенни почви от Трънско Краище

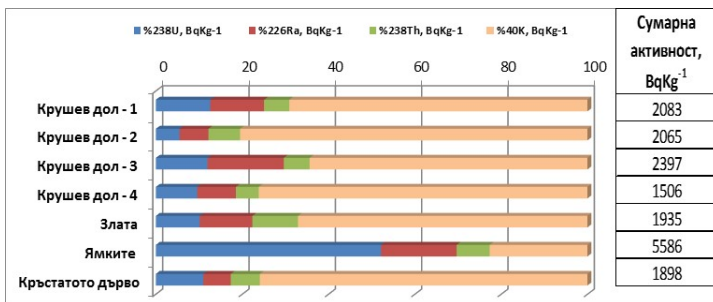
№	Обект	Техногенни почви	Кк ^{238}U	Кк ^{226}Ra	Кк ^{232}Th	Кк ^{40}K
1	Крушев дол	Техн. почви (котлован) - ОД	3,53	3,18	1,49	0,97
	Крушев дол	Техн. почви (табани)- ОД	1,54	1,68	1,85	1,12
	Крушев дол	Техн.почви - ПД	3,87	5,18	1,76	1,04
	Крушев дол	хвост.	1,95	1,65	0,97	0,77
2	Злата	ПД	1,75	1,70	1,85	1,14
3	Ямките	ПД	3,96	2,33	1,13	1,16
4	Кръстатото дърво	ПД	1,05	0,44	1,00	0,81

Легенда: ОД – открит добив; ПД – подземен добив

незамърсена	< 1	силно замърсена	3 – 5
слабо замърсена	1 – 2	опасно замърсена	> 5
средно замърсена	2 – 3		

- промяна в посока нарастване в участието на общата радиоактивност (в сравнение със зоналните почвени типове) на: ^{238}U и ^{226}Ra (фиг. 5.3-1) при техногенните почви от: участък „Ямките” и участък „Крушев дол”;

- транслокация на ^{238}U по водноерозионен път с повърхностния отток в дънните утайки на участък „Ямките”.



Фиг. 5.3-1. Процентно участие на активността на ^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th и ^{40}K от общата активност на техногенните почви от Трънско Краище
Легенда: Крушев дол – 1 – карьера открит добив; Крушев дол - 2 – табани открит добив; Крушев дол - 3 – табани подземен добив; Крушев дол - 4 – хвостохранилище

Доказано е наличието на зависимости в изследваните почви между: *съдържанието на естествени радионуклиди, съдържанието на естествени радионуклиди и pH и съдържанието на естествени радионуклиди и тежки метали* (зависимост между активността на ^{40}K и съдържанието на Mn с корелационен коефициент $R = 0,576$, при 95% вероятност, изразена с уравнението: $^{40}\text{K} = 1255,6 + 0,65768 * \text{Mn}$).

Определени са средните стойности на наблюдаваните съотношения $^{226}\text{Ra}/^{238}\text{U}$; $^{226}\text{Ra}/^{40}\text{K}$; $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$.

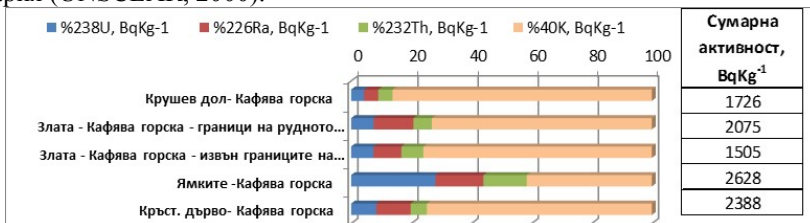
Определени са специфични радиологични показатели, доказващи радиологичния риск на техногенните почви от територията на обектите.

Ненарушени зонални почви

Определено е средното съдържание на естествени радионуклиди (^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , α - и β -активност) в кафяви горски почви.

Доказан е завишеният педогенен фон за някои от изследваните естествени радионуклиди (^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , α - и β -активност) в кафявите горски почви, както следва (фиг. 5.3-2): ^{238}U – участък „Ямките“; ^{226}Ra – участък „Злата“ – кафяви горски почви от района на рудното поле; участък „Ямките“ и участък „Кръстатото дърво“; ^{232}Th – участък „Злата“ – кафяви горски почви от района на рудното поле; участък – „Ямките“ и участък „Кръстатото дърво“; ^{40}K – участък „Крушев дол“; участък „Злата“ – кафяви горски почви от района на рудното поле и участък „Кръстатото дърво“; α - и β -активност – кафяви горски почви от района на „Ямките“.

Установено е, че средната активност на ^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K в зоналните почви е значимо по-висока от приетите средни активности за почвите в България (UNSCEAR, 2000).



Фиг. 5.3-2. Процентно участие на изследваните радионуклиди в общата активност на кафява горска почва от Трънско Краище

Установено е, че ненарушените кафяви горски почви в района на изследваните обекти се характеризират с активности, характерни за почвите в България, както следва: ^{238}U – участък „Крушев дол“; участък „Злата“ – кафяви горски почви от района на рудното поле и извън района на рудното поле; участък „Кръстатото дърво“; ^{226}Ra – участък „Крушев дол“; участък „Злата“ – кафяви горски почви извън района на рудното поле; ^{232}Th – участък „Крушев дол“; участък „Злата“ – кафяви горски почви извън района на рудното поле; ^{40}K – участък „Злата“ – кафяви горски почви извън района на рудното поле; участък „Ямките“.

Определени са средните стойности на наблюдаваните съотношения $^{226}\text{Ra}/^{238}\text{U}$; $^{226}\text{Ra}/^{40}\text{K}$; $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$.

Определени са специфични радиологични показатели, доказващи радиологичния риск от почвите и дънните утайки от територията на всички обекти.

6. РЕЗУЛТАТИ. СЪДЪРЖАНИЕ НА ТЕЖКИ МЕТАЛИ И МЕТАЛОИДИ

6.1. Обекти от Старопланинския масив

Техногенни почви

Определени са средните концентрации с граници на вариране на изследваните тежки метали в техногенни почви от 8 уранодобивни обекта, разположени в Старопланинския масив.

Установено е, че при еднакви (със зоналните почвени типове) почвообразуващи скали средните концентрации на тежки метали в техногенните почви са резултат на провежданата добивна дейност и превишават тези в зоналните

почви, както следва: Cu (БРП – участък „V шахта” и участък „Борче”; рудник „Яворовец”; рудник „Сливен”); Zn (рудник „Балкан” и рудник „Сливен”); Pb (БРП – участък „V шахта”; рудник „Сборище”; рудник „Сливен”); As (рудник „Яворовец”); Mn (БРП – участък „V шахта”); Fe (БРП – участък „V шахта”).

Доказано е замърсяване на техногенните почви с тежки метали (Cu, Zn, Pb и As) при три от изследваните обекти, като замърсяването е с различна интензивност: **Cu** (слабо – рудник „Сливен”; средно – рудник „Яворовец”); **Zn** (слабо – участък „Борче” от „БРП”; опасно – рудник „Яворовец” и рудник „Сливен”); **Pb** (опасно – рудник „Яворовец” и рудник „Сливен”); **As** (опасно – рудник „Яворовец”).

Доказани са корелационни зависимости между *изследваните тежки метали, тежки метали и рН*, както и между *тежки метали и съдържанието на органичен въглерод* при техногенните почви от Старопланинския масив. Доказана е ролята на органичния С за сорбирането на отделни тежки метали (Zn, Cu, Mn, Fe и As) в техногенните почви при 50% от обектите.

Установени са силни корелационни зависимости между съдържанието на *тежки метали и механичния състав* при техногенните почви от: БРП – участък „V шахта” – източни и западни табани; рудник „Сборище” – участък „Сборище” и рудник „Сливен”.

Установена е миграцията и акумулацията на някои тежки метали (Mn, Fe, Cu, Zn, Pb и As) с протичането на елувиално-илувиални процеси при техногенните почви.

Зонални почви

Определени са средните концентрации с граници на вариране на изследваните тежки метали в зоналните почви (канелени горски, сиви горски и кафяви горски) от 8 уранодобивни обекта, разположени в Старопланинския масив. Доказан е завишеният педогенен фон на зоналните почвени типове с: Cu (рудник „Курило”, участък „Искра”; рудник „Балкан”; рудник „Рибарица” и рудник „Сборище”); Zn (БРП – участък „V шахта” и участък „Борче”; участък „Искра”; рудник „Рибарица”; рудник „Сборище”; рудник „Яворовец”); Pb (участък „Борче”; участък „Искра”; рудник „Балкан”; рудник „Рибарица”; рудник „Яворовец”); Cd (БРП – участък „V шахта” и участък „Борче”; рудник „Балкан”; рудник „Сборище”; рудник „Сливен”); Ni (участък „Искра”; рудник „Рибарица”); As (рудник „Рибарица”); Mn (участък „Борче”; участък „Искра”; рудник „Балкан”; рудник „Сборище”; рудник „Яворовец” и рудник „Сливен”); Fe (участък „Борче”; участък „Искра”; рудник „Балкан”; рудник „Сборище”; рудник „Яворовец” и рудник „Сливен”).

Установено е, че зоналните почви не са замърсени с тежки метали. Изключение правят канелените горски почви от: района на Буховско рудно поле, при които е установено превишаване на МДК за Cd в почви от постоянни тревни площи и почвите са определени като слабо замърсени; района на рудник Курило – участък „Искра“, за които е установено превишаване на МДК за Cu и Pb, като замърсяването е оценено като слабо за медта и средно за оловото.

6.2. Обекти от Рило-Родопския масив

Техногенни почви

Определени са средните концентрации с граници на вариране на изследваните тежки метали в *техногенни почви* от 10 обекта, разположени в Рило-Родопския планински масив.

Установено е, че при еднакви (със зоналните почвени типове) почвообразуващи скали установените средни концентрации на тежки метали в техногенните почви са резултат на провежданата добивна дейност и превишават статистически достоверно тези в зоналните почви, както следва: Cu – рудник „Бели Искър“, участък „Калъч борун“, рудник „Бабешка река“, рудник „Елешница“ (сондажно поле), рудник „Добролък“ и рудник „Планинец“; Zn – участък „Калъч борун“, участък „Кара тепе“, рудник „Бабешка река“, рудник „Добролък“ и рудник „Планинец“; Pb – участък „Калъч борун“, рудник „Елешница“; рудник „Добролък“ и рудник „Планинец“; Cd – рудник „Партизанска поляна“, участък „Калъч борун“, участък „Кара тепе“, рудник „Елешница“; Ni – рудник „Бабешка река“, рудник „Планинец“; Mn – участък „Калъч борун“, участък „Кара тепе“, рудник „Елешница“; Fe – участък „Калъч борун“, рудник „Елешница“.

Доказано е, че въздействието от повеждания способ на добивна дейност (открит и подземен) се проявява в установени по-високи средни концентрации на тежки метали при открития добив, различаващи се статистически достоверно от тези при подземен добив (при еднакви почвообразуващи скали) за: Cu – участък „Калъч борун“ и рудник „Планинец“; Zn – участък „Калъч борун“ и рудник „Планинец“; Pb – участък „Калъч борун“ и рудник „Планинец“; Cd – участък „Калъч борун“; Ni – рудник „Планинец“; Fe – участък „Калъч борун“.

Установено е, че в резултат на провежданите проучвателни и добивни дейности, формираните техногенни почви са с различно, в количествено и качествено отношение, съдържание на тежки метали спрямо зоналните почви.

Въздействието от провежданата добивна дейност се изразява в слабо замърсяване на техногенните почви с тежки метали (**Cu, Pb**) при участък „Калъч борун”. Доказано е взаимодействие между отделните тежки метали и идентичното им поведение в техногенните почви от различните обекти. Установени са значими междуелементни корелации, потвърждаващи известни от литературата факти. Установена е зависимостта на някои тежки метали (Cd, Cu, Zn, Pb и Ni) от реакцията на почвения разтвор и съдържанието на органичен въглерод.

Доказани са корелационни зависимости между съдържанието на тежки метали и механичният състав при техногенните почви от: участък „Калъч борун” и рудник „Наречен”.

Миграцията и акумулацията на някои тежки метали (Mn, Fe, Cu, Zn, Pb и As) е установена с протичането на елувиално-илувиални процеси при техногенните почви.

Зонални почви

Определени са средните концентрации с граници на вариране на изследваните тежки метали и металоиди в зоналните почвени типове.

Доказан е завишеният педогенен фон на зоналните почвени типове с: Cu (рудник „Партизанска поляна”, участък „Кара тепе”, рудник „Здравец”; рудник „Наречен”); Zn (рудник „Бели Искър”, рудник „Партизанска поляна”, рудник „Елешница”, рудник „Здравец”, рудник „Наречен”); Pb (рудник „Бели Искър”, рудник „Партизанска поляна”, участък „Кара тепе”, рудник „Бабешка река”, рудник „Здравец”, рудник „Наречен”); Cd (рудник „Здравец”); Ni (рудник „Бели Искър”); As (рудник „Бабешка река”); Mn (рудник „Здравец”, рудник „Наречен”); Fe (участък „Кара тепе”, рудник „Здравец”, рудник „Наречен”).

Установено е слабо замърсяване с **Pb** на канелените горски почви от района на рудник „Наречен”.

Доказани са корелационни зависимости между *изследваните тежки метали, изследваните тежки метали и рН и изследваните тежки метали и съдържанието на органичен въглерод* при тъмноцветни горски почви, кафяви горски почви и канелени горски почви.

6.3. Обекти от Трънско Краище

Определени са средните концентрации с граници на вариране на изследваните тежки метали в *техногенни почви и кафяви горски почви* от 4 обекта, разположени в Трънско Краище.

Доказано е, че техногенните почви не се различават по съдържание на тежки метали и металоиди от кафявата горска почва. Изключение прави оловото, чиято средна концентрация ($1652,74 \pm 2845,12 \text{ mg.kg}^{-1}$) превишава значимо МДК и ИК за почви от индустриални терени.

Установено е, че кафявата горска почва от района се характеризира със завишен педогенен фон за олово, чиято средна концентрация ($96,22 \text{ mg.kg}^{-1}$) превишава леко МДК за почви от постоянни тревни площи.

Доказани са корелационни зависимости между съдържанието на *изследваните тежки метали*, както и *между тежките метали и рН* в техногенните почви и кафявите горски почви.

7. РЕЗУЛТАТИ. ФАКТОРИ, ВЛИЯЕЩИ НА ПОВЕДЕНИЕТО НА ЗАМЪРСИТЕЛИТЕ

7.1. Климатични особености в районите на обектите

Установено е, че температурните колебания и като цяло температурният баланс в района на рудници: „Сливен”, „Балкан” и „Яворовец” (обекти от Старопланинския масив), рудници „Наречен”, „Елешница” и „Планинец” (обекти от Рило-Родопския масив) и участъци „Крушев дол”, „Злата”, „Ямките” и „Кръстатото дърво” (Трънско Краище) създават условия за по-интензивно протичане на физическите изветрителни процеси. Влажностният режим има определяща роля за пренасянето на рушивните продукти от изветрянето и миграцията на замърсителите.

7.2. Релефни особености

Релефът на новоформираните техногенни форми способства транслокацията на замърсителите чрез мястото и начина на депониране.

7.3. Изветряне на техногенните почви

7.3.1. Петрографски и минерален състав на изследваните техногенни почви

Направените шлифови анализи показват силна напуканост на скалните субстрати, изграждащи техногенните почви от табаните на рудник „Сборище“ и рудник „Сливен“. Това предопределя тяхната бъдеща механична дезинтеграция и интензивно химическо изветряне. Интерминералните пукнатини и относително ясно проявените интерминерални пукнатини при плагиоклазите, по които има променителни продукти, допринасят за минералната дезинтеграция на скалите и улесняват процесите на химическо изветряне. Люспестите

(серицит, хлорит и глинесто вещество) и рудните (хематит, вторично изменен пирит и др.) минерали във и около пукнатините стимулират и улесняват протичането на физически и химически изветрителни процеси.

Процесите на окисление на сулфидните рудни минерали, заедно с просмукващите се през депонираните материали атмосферни води, водят до образуването на сярна киселина (Ollier, 1987; Zhang and Evangelou, 1996). С подкиселяването на дренажните води нараства тяхната агресивна способност да разтварят различни компоненти от изветрящия скален субстрат, което стимулира късовата дезинтеграция, ускорява и задълбочава химическото изветряне. Формираните силно кисели дренажни води създават условия за излужване на редица редки и тежки метали, съдържащи се в депонираните скални маси.

7.3.1.1. Състав на първичните и вторичните минерали

Определен е количественият и качественият състав на първичните и вторичните минерали, изграждащи техногенните почви от Старопланинския и Рило-Родопския масив. Установено е, че изследваните субстрати са със сложен, разнообразен, многофазов минерален състав. Общото за всички проби е преобладаването на кварц – фелдшпатовата компонента. Спецификата на субстратите, изграждащи техногенните почви от отделните обекти, се определя от количественото преобладаване на кварца или фелдшпатите и вида и количеството на останалите минерали. В зависимост от това изследваните техногенни почви от Старопланинския и Рило-Родопския масив се характеризират със следните особености:

➤ Участък „V шахта” – Буховско рудно поле

- първичните минерали съставят над 50% от материала с тенденция за увеличаване на количеството им в дълбочина по профила. Преобладават минералите от леката фракция (кварц, фелдшпати). Диагностицирани са и примеси от калцит, хлорит и доломит. Тежката фракция е представена от гибсит, магнетит, пирит и гьотит. Кварцът преобладава чувствително над фелдшпатите. Съдържанието му в повърхностните пластове, които са в значителна степен дезинтегрирани, е по-ниско в сравнение с това в дълбочина, където процесите на изветряне не са така интензивни. Кварцът е с незасегнати от изветрянето зърна. Фелдшпатите са калиеви (микроклин) в почти изравнено количествено участие с плагиоклазите (албит). В повърхностните супергенни условия фелдшпатите са изветрели частично, изразено в слаба каолинизация при микроклина и супергенно пигментиране с железни хидроксида при албита. С увеличаване на дълбочината и затихване интензивността на изветрителните про-

цеси се наблюдава, макар и не много силна, тенденция за намаляване на количественото им присъствие (албит). Коефициентът на мономинералност се изменя от 2,2 до 5,4.

Количественото присъствие на мусковита, чиито люспи се срещат в дребночастичната фракция, е в порядъка 10 – 21%.

От глинестите минерали преобладаващо участие има смесенослоистият илит над калолинита, който се наблюдава само в една проба. Присъствието на последния в дълбочина се увеличава и е близко до това на изходната скала. Изветрянето му в повърхностните пластове е съпроводено с хидратация и изнасяне на калий, което се потвърждава от данните за оксидния състав, като мусковитът преминава в илит и каолинит.

В незначителни количества се срещат калцит, доломит, магнетит, пирит, гьотит и гибсит.

В окислителна обстановка пиритът е особено неустойчив. Голяма част от получените изветрителни продукти се изнасят извън зоната на изветряне, а трудно разтворимите желязни хидроксида се натрупват, като придават специфичната ръждивочервена окраска на повърхностните пластове, характерна и за двете изследвани насипища от „източни” и „западни” табани. Наличието на минерали на желязни и алуминиеви хидроксида (гьотит и гибсит), екзогенни продукти на окислени железосулфидни минерали, е признак за интензивно изветряне на първичните минерали и също е индикатор на протичащи съвременни процеси.

В дълбочина на профила се наблюдават тенденции за промени в количествения състав на първичните и някои вторични минерали.

Установеното при микроморфоложките анализи органично вещество, пигментиращо глинестите минерали или срещащо се във вид на натрупани, силно или слабо пиритизирани, е с алохтонен произход.

➤ **Находище „Пробойница” – Рудник „Балкан”**

Субстратите, изграждащи техногенните почви от табаните на рудника са със значително по-богат минерален състав. В състава на първичните минерали се наблюдава абсолютна доминация на минералите от леката фракция (кварц и фелдшпати). Кварцът преобладава чувствително над фелдшпатите. Фелдшпатите (албит и микроклин) са с приблизително изравнено количествено присъствие. В резултат на изветрителни процеси при фелдшпатите се наблюдава слаба каолинитизация на микроклина и супергенно пигментиране с желязни хидроксида при албита. Освен установените основни компоненти са диагностицирани и примеси от калцит, хлорит и гибсит. Карбонатите са представени слабо. Тяхното присъствие е унаследено от материнската скала.

Тежката фракция е представена от гибсит и гьотит, екзогенни продукти на окислени железосулфидни минерали, е признак за интензивно изветряне на първичните минерали и е индикатор на протичащи съвременни процеси.

Глинестите минерали са представени от мусковит и илит.

Коефициентът на мономинералност е 3.16.

➤ Рудник „Сборище”

Изследваните техногенни почви от равнинните и откосните повърхнини имат беден минерален състав и значителна доминация в леката фракция на фелдшпатите над кварца.

Равнинни повърхности. В състава на леката фракция доминират фелдшпатите над кварца. Участието на кварца в повърхностните слоеве е по-ниско в сравнение с това в дълбочина, резултат на по-интензивното протичане на изветрителните процеси в повърхностните пластове, където се наблюдава и по-високо участие на дребноразмерни фракции. Фелдшпатите, обратно на кварца, са с по-високо количествено участие в повърхностните слоеве и намаляват с увеличаване на дълбочината. Те са предимно натриеви плагиоклази (албит – олигоклаз) и с по-ниско участие – калиеви фелдшпати (микроклин). Под влияние на интензивни изветрителни процеси на повърхността фелдшпатите изветрят, докато отделни малки зърна кварц се придвижват надолу с инфилтриращите се води. С това може да се обясни обогатяването на по-дълбоките пластове с кварц, независимо от първоначално еднаквото количество.

Коефициентът на мономинералност се изменя от 0,31 до 0,48 с увеличаване на дълбочината. Тези резултати свидетелстват за изветряне на неустойчивите компоненти (фелдшпати) и намаляване на техните количества за сметка на относително увеличеното количествено присъствие на устойчивия кварц.

Откосни повърхности. В състава на леката фракция отново доминират фелдшпатите над кварца. Количеството на кварца в повърхностните пластове е еднакво с това в дълбочина, резултат на интензивното протичане на склонови изветрителни процеси и непрекъснато изнасяне на дребноразмерните фракции. Фелдшпатите, подобно на кварца са с приблизително еднакво количествено участие в повърхностните и дълбочинните слоеве. Те са предимно натриеви плагиоклази (албит – олигоклаз) и с по-ниско участие – калиеви фелдшпати (микроклин). По плагиоклаза са развити серицит-мусковит и прашести глинести минерали. Калиевият фелдшпат е слабо глинясъл с редки серицитови люспи по повърхността. Карбонатите са слабо представени, като количеството на калцита остава непроменено с увеличаване на дълбочината. В

пробите се срещат в минимални количества каолинит и епидот. Глинестите минерали са представени от каолинит.

Коефициентът на мономинералност се изменя много слабо с увеличаване на дълбочината. Тези резултати свидетелстват за изветряне на неустойчивите компоненти (фелдшпати) и намаляване на техните количества за сметка на относително постоянното количествено присъствие на устойчивия кварц.

➤ Рудник „Сливен”

Техногенните почви, изграждащи табаните на рудник „Сливен“, са карбонатно-силикатни. Освен алумосиликатните минерали се наблюдава и високо участие на доломит, което варира от 3 до 86% и е във връзка с петрографския състав на депонираните материали. Минералите от леката фракция са преобладаващо кварц – фелдшпатови, като участието на кварца е по-високо от това на фелдшпатите. Последните са основно калиеви (ортоклаз) и по-малко плагиоклази (албит-олигоклаз), което е характерно за петрографския състав на депонираните материали. Количеството на фелдшпатите се увеличава от по-едрият към по-дребните фракции, т.е. с увеличаване на дълбочината количеството им намалява. Фелдшпатите са засегнати силно от изветрителните процеси на повърхността. Кварцът, обратно на фелдшпатите, намалява количествено в по-дребноразмерните фракции, които са характерни за повърхностните слоеве. Съдържанието на кварц от повърхностните към дълбочинните пластове се увеличава. Калцитът, доломитът и мусковитът са унаследени от материнската скала. Присъствието на мусковит е незначително. Глинестите минерали са представени от илит и каолинит. Последният като минерал, стабилен в условията на хипергенеза остава на място или претърпява незначително преместване в дълбочина във вид на натрупи. Произходът му вероятно е унаследен. Коефициентът на мономинералност се изменя от 0,66 – 0,72 в повърхностните пластове до 0,69 – 1,5 в дълбочина.

➤ Рудник „Здравец“

Субстратите, изграждащи техногенните почви, са богати на алумосиликатни минерали, като леката фракция преобладава над тежката. Количеството на кварца нараства с увеличаване на дълбочината. Фелдшпатите са предимно натриеви плагиоклази (албит) и с по-ниско участие калиеви фелдшпати (микроклин). Участието на албита се запазва непроменено в дълбочина, докато това на микроклина намалява с увеличаване на дълбочината. Като цяло в повърхностните пластове фелдшпатите са с по-високо количествено присъствие в сравнение с кварца. Карбонатите са представени слабо, като количественото

участие на калцита остава непроменено с увеличаване на дълбочината. Глинестите минерали са представени от мусковит и илит, като запазват количественото си присъствие по цялата изследвана дълбочина (мусковит и илит). Коефициентът на мономинералност се изменя от 0,86 до 1,41 с увеличаване на дълбочината. Тези резултати свидетелстват за изветряване на неустойчивите компоненти (фелдшпати) и намаляване на техните количества за сметка на относително увеличеното количествено присъствие на устойчивия кварц.

➤ **Участък „Кара тепе“**

Субстратите, изграждащи техногенните почви, се характеризират с преобладаване на леката фракция над тежката. Количеството на кварца нараства в дълбочина. Фелдшпатите са предимно натриеви плагиоклази (албит) и с пониско участие – калиеви фелдшпати (микроклин). Участието на албита и микроклина намалява в дълбочина. Като цяло в повърхностните пластове фелдшпатите са с по-високо количествено присъствие в сравнение с кварца. Глинестите минерали са представени от мусковит и илит, като увеличават количественото си присъствие с увеличаване на дълбочината, което е резултат на процеси на вмиване. Коефициентът на мономинералност се изменя от 0,29 до 0,52 с увеличаване на дълбочината.

Стойностите на индекса на изветряне (W) на минералите показват, че при всички изследвани техногенни почви от Старопланинския и Рило-Родопския масив, алкалните и алкалоземните елементи изветрят значително по-леко в сравнение с другите.

7.3.2. Оксиден състав на техногенни почви

➤ **Обекти от Старопланинския масив**

Участък „V шахта“ – Буховско рудно поле. Установено е, че общият химичен състав на изследваните техногенни почви е обусловен от минералния състав на изграждащите ги рудовместващи скали и от условията за миграция на химичните елементи. Наблюдава се преобладаващо участие на SiO_2 и Al_2O_3 , които влизат в състава на силикатите и алумосиликатите на депонираните геологични материали и се освобождават при изветряването им, но практически са най-слабо мигриращи. С минимално участие са оксидите на K , Ca и Mg . Установена е слаба тенденция за диференциация на профила по показател максимално съдържание на SiO_2 . В дълбочина, във връзка с изветрителните процеси, количеството на алуминиевите хидроксида нараства слабо или се запазва относително постоянно.

Изследваните техногенни почви се характеризират с относително натрупване на Fe_2O_3 в повърхностните пластове, резултат на изветрянето на първичните скалообразуващи минерали и окислението на пирита и гьотита. Тъй като изветрителните процеси са преобладаващо повърхностни, в дълбочина количеството Fe_2O_3 рязко намалява.

Указания за наличие на процеси на изветряне и слабо изнасяне на сесквиоксидите в дълбочина дават резултатите от отношението $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$, които се изменят от 3,18 до 4,73 при техногенните почви от „западни“ табани и от 2,93 до 3,58 при техногенните почви от „източни“ табани.

Резултатите от оксидния състав доказват, че за табаните от Буховското рудно поле химичното изветряне на първичните силикатни минерали през топлия и влажен период – края на април до края на юни води до образуване на двуслойни и трислойни глинести минерали и освобождаване на желязни хидроксиди. През сухия период с продължителност за района от 3 месеца желязните хидроксиди дехидратират и кристализират в FeO и Fe_2O_3 . Изветрят главно неустойчивите минерали, а образуваните, главно от изветрянето на слюдите, глинести минерали (илит и каолинит) се изнасят в дълбочина (илит).

Рудник „Балкан“. Резултатите от изследванията доказват, че изследваните техногенни почви се характеризират с преобладаващо участие на SiO_2 (62,78%) и Al_2O_3 (17,18%) над K_2O (4,50%), Fe_2O_3 (3,80%), CaO (3,11%), MgO (2,39%), TiO (0,78%), Na_2O (0,50%).

Рудник „Сборище“. Установено е преобладаващо участие на SiO_2 и Al_2O_3 . В повърхностните пластове на техногенните почви концентрацията на SiO_2 е 69,48% и нараства в дълбочина по профила до 72,05% с ясна тенденция за диференциация на профила в дълбочина по показател максимална концентрация на Si. Съдържанието на Al_2O_3 в повърхностните пластове на изследваните техногенни почви, дължащо се на наличието на албит, микроклин и мусковит е 15,63% и намалява в дълбочина по профила до 14,99%. Съдържанието на FeO се изменя от 0,89% в повърхностните пластове до 0,44% в дълбочинните пластове, поради намаленото присъствие на хлорит. Указания (макар и слаби) за наличие на процеси на изветряне и слабо изнасяне на сесквиоксидите в дълбочина дават резултатите от отношението $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$, които се изменят от 4,17 до 4,65.

Находище „Сините камъни“ – рудник Сливен. Резултатите от изследванията показват, че:

Съдържанието на SiO_2 в повърхностните пластове на изследваните техногенни почви, формирани от *кварц – порфир, варовици, доломити, доломитизирани варовици и глинести мергели* е 38,25% и нараства в дълбочина по профила до 40,50% с ясна тенденция за диференциация на профила в дълбочина

по показател максимална концентрация на Si. Съдържанието на CaO в повърхностните пластове от техногенните почви, представено само от доломит, слабо намалява в дълбочина.

Съдържанието на Al_2O_3 в повърхностните пластове на изследваните техногенни почви, представено от наличието на ортоклаз, албит и каолинит, е 5,68% и нараства в дълбочина по профила до 8,05%. Съдържанието на доломит рефлектира в наличие на CO_2 , чието съдържание се изменя от 23,39% до 21,88%, съответно в повърхностните и дълбочинните пластове.

Анализът на оксидния състав на изследваните техногенни почви показва макар и минимални съдържания на ZnO и SO_3 само в повърхностния слой, в количества съответно за ZnO – 1,01% (повърхностни пластове) и SO_3 – 0,99%.

За техногенните почви на рудник „Сливен”, изградени с преобладаващо участие на *кварцитизувани пясъчници и алевролити*, е характерно:

- преобладаващо участие на SiO_2 и Al_2O_3 . В повърхностните пластове на техногенните почви съдържанието на SiO_2 е 57,77% и нараства в дълбочина по профила до 62,64% с ясна тенденция за диференциация на профила в дълбочина по показател максимална концентрация на Si. Съдържанието на Al_2O_3 в повърхностните пластове на изследваните техногенни почви е 11,50% и нараства слабо в дълбочина по профила до 12,39%.

Съдържанието на CaO в повърхностните пластове от техногенните почви, представено от участието на доломит и калцит, е 6,90% и намалява в дълбочина до 5,07%. Съдържанието на Fe_2O_3 , носител на който е илитът, се изменя от 0,33% до 0,20%, съответно от повърхностните в дълбочинните пластове.

Указания (макар и слаби) за наличие на процеси на изветряне и слабо изнасяне на сесквиоксидите в дълбочина дават резултатите от отношението SiO_2/R_2O_3 , които се изменят от 4,88 до 4,98. Съдържанието на доломит рефлектира в наличие на CO_2 , чието съдържание се изменя от 9,95% до 7,08%, съответно от повърхностните в дълбочинните пластове.

➤ **Обекти от Рило-Родопския масив**

Находище „Здравец“. Анализът на оксидния състав показва преобладаващо участие на SiO_2 и Al_2O_3 и слаба тенденция за диференциация на профила в дълбочина по показател максимална концентрация на Si. Съдържанието на SiO_2 в повърхностните пластове на изследваните техногенни почви е 70,64% и нараства в дълбочина по профила до 72,82% с ясна тенденция за диференциация на профила в дълбочина по показател максимална концентрация на Si. Съдържанието на Al_2O_3 в повърхностните пластове на изследваните техногенни почви, представено от наличието на мусковит, албит, илит и микроклин, е 15,95% и намалява в дълбочина по профила до 14,29%.

Указания (макар и слаби) за наличие на процеси на изветряне и слабо изнасяне на сесквиоксидите в дълбочина дават резултатите от отношението $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$, които се изменят от 4,28 до 4,70.

Находище „Калъч борун“ – участък „Кара тепе“. Наблюдава се преобладаващо участие на SiO_2 и Al_2O_3 без ясно очертана тенденция за промени в състава с увеличаване на дълбочината.

Съдържанието на SiO_2 в повърхностните пластове на изследваните техногенни почви е 72,12% и остава без промяна в дълбочина по профила до 72,17%. Съдържанието на Al_2O_3 в повърхностните пластове на изследваните техногенни почви, представено от наличието на мусковит, албит, илит и микроклин, е 15,66% и остава без промяна в дълбочина по профила до 15,66%.

Съдържанието на Fe_2O_3 в повърхностните пластове на техногенните почви, представено от глинестия минерал илит е минимално – 0,13% и слабо нараства в дълбочина – 0,47%.

Моларни съотношения

Определени са индексите на изветряне посредством моларните съотношения – „бази:алумооксиди” [$(\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}+\text{CaO}+\text{MgO}):\text{Al}_2\text{O}_3$], „кварц:алумооксиди” ($\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3$) и „кварц:сесквиоксиди” [$\text{SiO}_2:(\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3)$]. Установено е, че при преобладаващата част от изследваните техногенни почви скоростта на изнасяне на алкалните и алкалоземните елементи, в т.ч. Al_2O_3 от повърхностния слой, е по-интензивна в сравнение с изнасянето на SiO_2 .

7.3.3. Състав на дренажните води

Резултатите от анализа на дренажните води от техногенните почви от „източни” и „западни” табани показват, че:

- в състава на лизиметричните води от „източни” табани (бокс А) преобладават катионите на Ca, Mg, Mn, Zn, като основни носители на първите са калцитът и доломитът;

- в състава на лизиметричните води, инфилтрирани през повърхностните пластове на „западни” табани (бокс В) преобладават сулфатните аниони над базичните катиони (Ca, Mg), което дава отражение върху стойностите на рН. Последните запазват относителна постоянност в стойностите ($\text{pH} < 5$) през тригодишния период;

- в състава на лизиметричните води, инфилтрирани през пластове на „източни” табани (бокс А) и зеолитовия сорбент, преобладават базичните катиони (K, Ca, Mg) над катионите на Cu, Zn, Fe, Mn, което дава отражение върху стойностите на рН. Последните запазват относителна постоянност в областта на алкалните значения през тригодишния период.

Получените стойности на коефициента на водна миграция показват, че оловото и медта са слабоподвижни мигранти, докато цинкът, кадмият и манганът са с много висока и висока подвижност.

8. РЕЗУЛТАТИ. ЗЪРНОМЕТРИЧЕН И МЕХАНИЧЕН СЪСТАВ

8.1. Зърнометричен състав на техногенни почви от обекти в Старопланинския масив и Рило-Родопския масив

8.1.1. Участък „V шахта”

Установено е, че изследваните техногенни почви са несвързани, разнозърнести. Коефициентът на разнозърненост варира от 16 до 80, като материалът се класифицира преобладаващо като среден чакъл. Резултатите показват преобладаващо участие при всички изследвани техногенни почви на фракция *чакъл*, чието съдържание се изменя от 62 до 90%, следвано от това на фракция *пясък* (8 – 31%) и фракция *прах* (2 – 9%). Установено е минимално участие на фракция *глина* (1%) само в повърхностния слой на почвите от табана на щолна 19.

8.1.2. Рудник „Сборище”

Установено е, че изследваните техногенни почви са несвързани, разнозърнести. Коефициентът на разнозърненост варира от 8,6 до 92,6, като материалът се класифицира преобладаващо като среден чакъл. Резултатите показват преобладаващо участие при всички изследвани техногенни почви на фракция *чакъл*, чието съдържание се изменя от 20,33 до 28,66%, следвано от това на фракция *пясък* (15,47 – 18,23%) и фракция *прах* (13,28 – 18,23%). Установено е минимално участие на фракция *глина* (1,5 – 0,5%) само при подравнената част на табаните.

Анализът на зърнометричния състав в дълбочина показва следните тенденции:

- в повърхностните пластове (0 – 20 cm) при подравнените части, в резултат на протичащи активни изветрителни процеси, зърнометричният състав на техногенните почви, формирани от метагранити е представен от четири фракции – *чакъл* (20,33%), *пясък* (22,67%), *прах* (31%) и *глина* (1,5%). При откосите, участието на фракции *чакъл* и *пясък* е по-високо (24,33%), участието на праховата фракция е занижено (24,33%), а глинестата фракция отсъства.

- с увеличаване на дълбочината има нарастване в количественото съдържание на фракцията *чакъл* както при подравнените части, така и при откосите,

съответно 29,66 и 28,66%. Наблюдава се нарастване на количеството на пясъчната и праховата фракция, което индикира интензивни изветрителни процеси. Намалява участието на глинестата фракция, което в техногенните почви от подравнените части достига 0,5%, а при тези от откосите липсва.

8.1.3. Рудник „Сливен”

Изследванията, извършени през 1996 г. показват, че техногенните почви са несвързани, разнوزърнести. Коефициентът на разнозърненост варира от 8,6 до 92,6, като материалът се класифицира преобладаващо като едър чакъл. Изследванията, извършени през 2011 г. показват, че изследваните техногенни почви са разнозърнести, като материалът се класифицира преобладаващо като среден чакъл.

Анализът показва, че докато през 1996 г. (35 г. след депонирането) зърнометричният състав на техногенните почви от табана на щолна 8-10 е представен само от две фракции (*чакъл* и *пясък*), то през 2011 г. (50 г. след депонирането), в резултат на интензивни изветрителни процеси, в зърнометричния състав освен фракции *чакъл* и *пясък*, вече присъстват и фракция *прах* и *глина* (последната с минимално участие).

8.1.4. Участък „Калъч борун”

Установено е, че изследваните техногенни почви са несвързани, разнозърнести. Коефициентът на разнозърненост варира (9,3 – 12 – 16,2), като материалът се класифицира като среден до едър пясък, съответно на дълбочини 0 – 20 и 20 – 40 cm и дребен чакъл (40 – 60 cm). Резултатите показват, че: в повърхностните пластове (0 – 20 cm) в резултат на протичащи изветрителни процеси зърнометричният състав на техногенните почви е представен от четири фракции с различно количествено присъствие, съответно *чакъл* (19%), *пясък* (67%), *прах* (13%) и *глина* (1%); с увеличаване на дълбочината (20 – 40 cm) се забелязва нарастване в количеството на фракция *чакъл* (32%), слабо намаляване количеството на фракция *пясък* (62%) и намаляване на праховата фракция (6%). Участието на глинеста фракция е нулево; при по-голяма дълбочина (40 – 60 cm), със затихване на изветрителните процеси, се наблюдава трикратно нарастване на количественото участие на фракция *чакъл* (59%) в сравнение с това в повърхностния слой, приблизително двукратно намаляване участието на фракция *пясък* (39%) и трикратно намаляване на фракция *прах* (2%).

8.1.5. Рудник „Здравец”

Установено е, че изследваните техногенни почви са несвързани, разнотърнестни. Коефициентът на разнотърненост варира от 6,5 до 27,5, като материалът се класифицира като среден чакъл. Анализът на зърнометричния състав в дълбочина показва, че: в повърхностните пластове (0 – 20 cm) при подравнените части, в резултат на протичащи активни изветрителни процеси, зърнометричният състав на техногенните почви, формирани от мусковитови гнайси, е представен от четири фракции – чакъл (12%), пясък (18%), прах (62%) и глина (9%); с увеличаване на дълбочината (20 – 40 cm) рязко нараства количественото съдържание на фракции чакъл (67%) и пясък (30%), праховата фракция рязко намалява (3%), а глинестата изчезва. Това индикира интензивни изветрителни процеси, засягащи само повърхностния слой.

8.2. Механичен състав на техногенни почви от Рило-Родопския планински масив

8.2.1. Участък „V шахта” – БРП

През 1996 г. механичният състав на ситнозема на изследваните техногенни почви се изменя от пясък до праховит пясък, като участието на: пясъчливата фракция варира от 77 до 91% при средна стойност $85,4 \pm 4,24\%$, праховата фракция от 6,6 до 23% при средна стойност $13,54 \pm 4,63\%$ и глинеста фракция от 0,01 до 3,74%.

През 2011 г. (15 г. след първоначалните изследвания) механичният състав е пясъчливо-праховит, като участието на глина нараства чувствително, изменението се от 8-20% при средна стойност $15,33 \pm 3,84\%$. При всички разрези се запазва преобладаващото участие на пясъчливата фракция, която варира от 77.02-90.91% при средна стойност $83,96 \pm 3,39\%$. Прави впечатление закономерността в характера на изменение на количеството глина с увеличаване на дълбочината, което вероятно е резултат на процеси на вмиване, особено характерни за табани, цялостно изградени от глинести шисти (табан щолна 5).

Установено е, че при преобладаващото участие на минерали от леката фракция (кварц 37 – 47%; мусковит – 10 – 18% и илит 10 – 13%) и период на експониране над 50 г. (64 г.) депонираните скални субстрати изветрят, като формираните техногенни почви са с пясъчливо-праховит механичен състав, който предопределя лесната миграция на замърсителите в дълбочина, с инфилтрираните води и с повърхностния отток.

Установените силни взаимовръзки на ^{238}U , ^{226}Ra и ^{232}Th с пясъчливата фракция доказва зависимостта на активността на почвата от наличието на уран- и торийсъдържащи минерали, включени в грубата й фракция.

Протичащите изветрителни и почвообразователни процеси са установени с взаимовръзките на ^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th и ^{40}K с праховата и глинестата фракция.

Несвързаността на техногенните почви прави механичните фракции лесно податливи на ерозионно въздействие. Установените силни, статистически доказани зависимости между съдържанието на Zn, Cd и Mn с пясъчната, глинестата, и праховата фракции, са показателни за ролята на интензивността на изветрителните процеси при миграцията на замърсителите.

Получени са резултати, които по индиректен път потвърждават установената корелационна зависимост между *замърсителите* - естествени радионуклиди и тежки метали, *замърсителите и носителите* – естествени радионуклиди и тежки метали, и механичните фракции.

8.2.2. Рудник „Сборище”

Изследваните техногенни почви от рудник „Сборище” се характеризират с пясъчлив механичен състав – преобладава фракция *пясък*, а участието на фракция *глина* е минимално. При съпоставяне на резултатите от извършените изследвания на механичния състав през 1994 и 2011 г. се установява следното:

- През 1994 г. (18 години след експониране на материалите върху земната повърхност) механичният състав на повърхностния слой е представен преобладаващо от фракция *пясък* (98%), минимално участие на праховата фракция (2%) и отсъствие на фракция *глина*. В дълбочина механичният състав на изследваните техногенни почви е представен само от фракция *пясък*.

- През 2011 г. (35 години след експониране на материалите върху земната повърхност) в резултат на изветрителни процеси в механичният състав на повърхностния слой са настъпили промени, изразени в наличие, макар и в минимално, количество на фракция *глина* (2,56%), увеличаване на съдържанието на фракция *прах* (7,69%) и намаляване количественото присъствие на фракция *пясък* (89,7%). В дълбочина се увеличава макар и слабо участието на праховата фракция (9,08%) и участието на фракция *пясък* (90,8%) за сметка на маленото участие на глинестата фракция (0,09%). Получените резултати показват връзката между минералния състав на депонираните скални субстрати, времето на експонирането им върху земната повърхност и механичният състав на формираните техногенни почви. При преобладаващото участие на минерали от леката фракция (албит – 39 – 38%; кварц 23 – 28%; микроклин – 22 – 20% и мусковит – 8 – 9%) и период на експониране 35 г. депонираните скални субстрати изветрят интензивно, като формираните техногенни почви имат лек (пясъчлив) механичен състав.

Лесно податливите на ерозионно въздействие пясъчлива и прахова фракция са носители на минерали, съдържащи Zn, Cd и Mn, с които са установени силни статистически доказани зависимости.

8.2.3. Рудник „Сливен”

Установено е, че механичният състав при всички техногенни почви варира от груб (пясък – праховит пясък) до среден (песъчливо-праховит). При всички техногенни почви преобладава участието на пясъчливата фракция, която варира от 72,42 до 99,93% при средна стойност $82,49 \pm 10,01\%$. Участието на праховата фракция варира от 2 до 25% при средна стойност $10,93 \pm 9,21\%$, а това на глинестата – от 0,03 до 3,44% при средна стойност $0,91 \pm 1,35\%$.

Доказано е, че дезинтеграцията на депонираните скални субстрати е свързана с формирането на значими количества инертни (песъчливи и прахови) и минимални количества реактивни (глинеста) фракции, минералният състав на които е богат с някои естествени радионуклиди (^{40}K и ^{232}Th) и тежки метали, спътници на урановото орудяване в района (Cu, Zn, Pb и Mn). Носители на последните са установените минерали: галенит, борнит, халкозин, халкопирит и сфалерит.

Резултатите показват, че формираната при изветрянето глинеста фракция (макар и с минимално количество), изградена от минерали от типа каолинит-монтморилонит, е богата на окислен руден минерал и носител на тежките метали (Cu, Zn, Pb и Mn), доказателство за което е полученият висок корелационен коефициент.

8.2.4. Рудник „Наречен”

Установено е, че механичният състав при всички техногенни почви е груб (пясък и праховит пясък). При всички техногенни почви преобладава участието на пясъчливата фракция, която варира от 82,37 до 96,62% при средна стойност $90,56 \pm 3,81\%$. Участието на праховата фракция варира от 2,09 до 13,92% при средна стойност $5,81 \pm 2,68\%$, а това на глинестата – от 1,25 до 8,15% при средна стойност $3,72 \pm 2,01\%$.

Установени са статистически доказани полиномиални зависимости между съдържанието на ^{238}U и ^{226}Ra и фракции пясък и фракция глина.

8.2.5. Рудник „Здравец”

Механичният състав на повърхностния слой (0 – 20 cm), представен преобладаващо от фракции пясък (49%), прах (48,78%) и минимално участие на фракция глина (2,22%), характеризира техногенната почва като пясъчливо-

праховита. В дълбочина (20 – 40 cm) механичният състав на изследваните техногенни почви се изменя до праховит пясък, представен основно от фракция *пясък* (77,13%), фракция *прах* (19,8%), и минимално участие на фракция *глина* (3,04%).

8.2.6. Рудопроявление „Калъч борун“ – участък „Калъч борун“

Изветрянето на биотитовите гранити води до формиране на техногенни почви, чийто механичен състав ги определя като пясък. Повърхностният слой (0 – 20 cm), представен преобладаващо от фракция *пясък* (91,67%), фракция *прах* (7,14%), и минимално участие на фракция *глина* (0,6%), характеризира техногенната почва като пясък. В дълбочина (20-40 cm и 40-60 cm), участието на пясъчната фракция нараства съответно до 95,37% и 98,51%, участието на праховата фракция намалява до 4,63% (20 – 40 cm) и 1,49% (40 – 60 cm), а това на фракция *глина* е нулево.

8.2.7. Рудник „Елешница“

Извършените изследвания на механичния състав на техногенни почви в регулацията на с. Елешница показват, че механичният състав е пясъчливо-праховит (69,5% пясък; 15,8% прах и 14,7% глина). Разпределението на естествените радионуклиди по механични фракции е неравномерно, като най-висока специфична активност се констатира в най-фината, податлива на ресуспензия фракция.

9. РЕЗУЛТАТИ. РЕАКЦИЯ НА ПОЧВЕНИЯ РАЗТВОР

9.1. Обекти от Старопланинския масив

Определена е средната активна киселинност и стандартното отклонение на техногенни почви, формирани след търсещо-проучвателни и добивни работи на уранова руда на територията на 8 обекта от Старопланинския масив. Активната киселинност на изследваните техногенни почви от Старопланинския масив варира от екстремно кисела до слабо алкална в зависимост от литоложкия състав на депонираните субстрати и прилаганата технология за добив. Установено е влиянието от прилаганата технология на проучване и добив на урановата суровина в обхвата на всеки един обект, изразено в:

- силно вкисляване на средата, резултат на: нагнетяване на сярна киселина и неконтролирани разливи на прилаганите сернокисели разтвори (участък „Искра” – открит добив); протичащи активни повърхностни процеси на извет-

ряне на железосулфидни минерали, водещи до кисляване на средата (техногенни почви от: „източни” и „западни” табани – участък „V шахта” и рудник „Рибарица”; локални петна – рудник „Сливен”);

- алкализирани на средата, резултат от депониране на скални субстрати от голяма дълбочина, съдържащи карбонатни материали (техногенни почви – участък „Борче”, рудник „Балкан”, рудник „Яворовец” и рудник „Сливен”.

Установени са статистически доказани зависимости между съдържанието на естествени радионуклиди и активната киселинност.

9.2. Рило-Родопски планински масив (избрани обекти)

Изследвана е активната киселинност на техногенни почви и зонални почви (А хоризонт) от територията на 9 обекта от Рило-Родопския планински масив с провеждан добив на уранова руда. Установено е, че активната киселинност на изследваните техногенни почви от Рило-Родопския планински масив варира от силно кисела до много слабо алкална в зависимост от литоложкия състав и прилаганата технология за добив. Доказано е, че прилаганата технология на добив на урановата суровина оказва влияние в обхвата на всеки един обект, изразено в: доказана разлика в активната киселинност на техногенните почви и рН на зоналните почви (рудник „Партизанска поляна”; участък „Калъч борун”; рудник „Селище”; рудник „Добролък”; рудник „Планинец” – открит добив); доказана разлика в активната киселинност на техногенните почви от открит добив и техногенните почви от подземен добив (участък „Калъч борун”; рудник „Планинец”); кисляване на средата с около 1 рН единица при техногенни почви от: рудник „Селище” и рудник „Добролък”; алкализирани на средата с около 1 рН единица – техногенни почви от рудник „Партизанска поляна” и рудник „Планинец”.

За техногенните почви от някои обекти са установени корелационни зависимости между естествените радионуклиди и реакцията на почвения разтвор.

9.3. Обекти от Трънско Краище

Определена е активната киселинност на техногенни почви и кафява горска почва (А хоризонт) от територията на 3 обекта от Трънско Краище. Техногенните почви са формирани след добивни работи на злато-съдържаща руда и търсецо-проучвателни работи на уранова руда. Установено е, че: активната киселинност на изследваните техногенни почви от Трънско Краище варира от слабо кисела до много слабо алкална в зависимост от литоложкия състав на депонираните субстрати и прилаганата технология за добив. Прилаганата технология на проучване и добив в обхвата на всеки един обект оказва влияние,

изразено в: наличие на доказана разлика в активната киселинност на техногенните почви (открит и подземен добив) и рН на зоналния почвен тип при всички обекти; наличие на статистически доказана разлика в активната киселинност на техногенните почви от открит добив и техногенните почви в обхвата на кариерата и хвостохранилището (участък „Крушев дол“); алкализирани на средата, резултат от: депониране на скални субстрати от голяма дълбочина, съдържащи карбонатни материали (техногенни почви – участък „Ямките“ и прилагане на химични реагенти при преработката на златната руда (техногенни почви – хвостохранилище „Крушев дол“).

10. РЕЗУЛТАТИ. СЪДЪРЖАНИЕ НА ОРГАНИЧЕН ВЪГЛЕРОД

10.1. Обекти от Старопланинския масив

Определено е съдържанието на органичен въглерод в техногенни почви, формирани след търсещо-проучвателни и добивни работи на уранова руда и зонални почви от територията на 8 обекта от Старопланинския масив. Установено е, че в резултат на провежданите геолого-проучвателни и добивни дейности на уранова руда са формирани техногенни почви, в които съдържанието на органичен въглерод е оценено на много ниско. По показател органичен С изследваните канелени горски почви са с много ниско до ниско съдържание, което при завишения им педогенен фон за ^{238}U и ^{226}Ra е фактор, който оказва влияние за повишената им мобилност.

Установеното закономерно намаляване на съдържанието на органичен С в дълбочина при техногенните почви от някои обекти („Борче“, „Рибарица“, „Сборище“, „Сливен“) е индикатор за протичането на начални почвообразователни процеси.

Установените много ниски концентрации на органичен С улесняват миграцията на замърсителите (естествени радионуклиди и тежки метали) при всички изследвани обекти, като техногенните почви са неефективен адсорбент за естествените радионуклиди и тежки метали, освобождаващи се в процесите на изветряне и мигриращи с протичането на началните почвообразователни процеси.

Доказани са зависимости между: активността на някои радионуклиди и органичния въглерод – обекти: „Искра“ (^{238}U), „Искра“ (^{226}Ra), „V шахта“ (^{232}Th); някои тежки метали и органичния въглерод – обекти: „Борче“ (Zn), „Искра“ (Cu, Zn), „Балкан“ (Cu, Zn, Fe), „Рибарица“ (As), „Сборище“ (Cu), „Яворовец“ (Cd) и „Сливен“ (Mn).

10.2. Рило-Родопски планински масив (избрани обекти)

Определено е съдържанието на органичен въглерод в техногенни почви и А хоризонт на зонални почви от територията на 9 обекта от Рило-Родопския планински масив с провеждан добив на уранова руда. Установено е, че в резултат на провеждания добив, формираните техногенни почви са с много ниско до ниско съдържание на органичен С и не притежават капацитет за сорбиране на замърсителите. Определеното средно съдържание на органичен въглерод в зоналните почвени типове в районите на отделните обекти се оценява на много ниско до ниско.

Доказано е намаляване на съдържанието на органичен въглерод с увеличаване на дълбочината при *техногенните почви* от обекти: „Селище“, „Елешница“, „Добролък“ и „Планинец“, „Партизанска поляна“, „Здравец“ и „Наречен“ – индикатор на протичащи начални почвообразователни процеси.

Установено е намаляване на съдържанието на органичен въглерод с увеличаване на дълбочината при *зоналните почви* от обекти: „Каръч борун“, „Селище“ (сондажно поле), „Здравец“ и „Планинец“, както и при зоналните почви от обекти: „Бели Искър“, „Партизанска поляна“, „Добролък“.

Доказани са зависимости между съдържанието на естествени радионуклиди и съдържанието на органичен въглерод при техногенните почви от: рудник „Селище“ (^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th и ^{40}K) и рудник „Здравец“ (^{238}U).

Установени са зависимости между съдържанието на тежки метали и металоиди, и съдържанието на органичен въглерод при техногенните почви от: рудник „Партизанска поляна“ (Mn и Fe), участък „Калъч борун“ (Zn, Pb, Mn), рудник „Елешница“ (Cu, Zn, Pb, Cd, Mn), рудник „Добролък“ (Pb).

11. АКУМУЛАЦИЯ В РАСТИТЕЛНОСТТА

Определена е акумулацията на естествени радионуклиди и тежки метали в естествено срещаща се растителност. Потвърдено е, че почвените условия и видовия състав на растителността оказват решаваща роля за акумулацията на редки и тежки метали в растителността.

Установено е че: акумулацията на ^{226}Ra в растителността е по-интензивна в сравнение с тази на ^{238}U ; ^{232}Th се акумулира в еднаква степен в тревната и дървесната (иглолистна и широколистна) растителност; ^{40}K се акумулира най-интензивно в сравнение с останалите радионуклиди; тревната и широколистната дървесна растителност натрупват по-силно ^{40}K в сравнение с иглолистната дървесна растителност.

Определени са трансферните коефициенти. Като цяло получените резултати са в съгласие с данните за Тк в литературата, посочващи вариране на Тк

от 7.10^{-5} до 75.10^{-2} за различни растителни видове (Ng, 1982). Установено е, че:

- ^{226}Ra се акумулира по-интензивно в сравнение с ^{238}U в листната маса при широколистните видове съответно с Тк с диапазон на вариране за ^{226}Ra от 48.10^{-2} (*Salix caprea*) до 58.10^{-3} (*Fraxinus ornus*) и Тк с диапазон на вариране за ^{238}U от 2.10^{-2} (*Alnus viridis*) до 56.10^{-4} (*R. pseudoacacia*).

- Тк при иглолистната растителност е с диапазон на вариране за: ^{226}Ra от 70.10^{-2} (*Picea abies*) до 18.10^{-3} (*Pinus sylvestris*) и за ^{238}U от $2,51.10^{-4}$ (*P. nigra*) до 192.10^{-3} (*P. sylvestris*).

- почвените условия оказват значимо влияние за акумулацията на радионуклиди в растенията. При подбела стойностите на Тк за ^{226}Ra се изменят в диапазона от $1,8.10^{-3}$ до 17.10^{-2} , а тези за ^{238}U – от $3,29.10^{-3}$ до $7,5.10^{-5}$.

Определени са коефициентите на биологично натрупване (Кбн) на тежки метали в изследваната растителност.

12. МОДЕЛИРАНЕ И ПРОГНОЗИ. ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА РЕКУЛТИВАЦИЯ

Извършеното моделиране е направено на база установените силни линейни зависимости между изследваните радионуклиди и рН.

Установени са два типа прогнози при намаляване на почвената киселинност с една рН единица – положителна, свързана с увеличаване на съдържанието на радионуклиди (^{232}Th – участък „V шахта“; ^{226}Ra , ^{238}U – рудник „Рибарица“; ^{40}K , ^{232}Th – рудник „Яворовец“; ^{40}K , ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{238}U – рудник „Селище“; ^{226}Ra , α -активност – рудник „Здравец“) и отрицателна, свързана с намаляване съдържанието на радионуклидите (^{40}K – участък „V шахта“; ^{226}Ra , ^{232}Th – рудник „Партизанска поляна“; ^{226}Ra , ^{238}U – участък „Крушев дол“).

И двата типа прогнози са свързани с риск за околната среда. Отрицателната – поради увеличената миграционна способност на замърсителите и пренос към подземните води, а положителната – чрез стимулиране процесите на изветряне и освобождаване на замърсителите.

Като възможности за рекултивация са представени приложените в практиката при рекултивацията на рудник „Курило“ – участък „Искра“ и участък „V шахта“ технологии, разработени на база специфичната активност на ^{226}Ra в почвата, които могат да намерят приложение при обекти с аналогична активност на ^{226}Ra в почвата.

13. ИЗВОДИ

Резултатите от проведените изследвания на 30 обекта от Старопланински и Рило-Родопския планински масив и района на Трънско Краище за установяване влиянието на провежданите геолого-проучвателни и добивни работи на уранова руда върху почви от горските територии в страната позволяват да се направят следните изводи:

1. Формирани са техногенни почви, чиято средна активност на естествените радионуклиди (^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K), α - и β -активност при 90% от обектите превишава нормативно признатите активности за почвите в България и средната активност на зоналните почви от съответните райони.

2. Средната активност на естествените радионуклиди при 70% от изследваните зонални почви превишава нормативно признатите активности за почвите в България, което е показател за завишения педогенен фон на ненарушените почви в районите с провеждани геолого-проучвателни и добивни дейности на уранова руда.

3. Техногенните почви са замърсени с естествени радионуклиди, като замърсяването е с различно естество и интензивност – *опасно замърсени* с: ^{238}U – 57%, ^{226}Ra – 67%, ^{232}Th – 10% и ^{40}K – 3%; *силно замърсени* с: ^{238}U – 23%, ^{226}Ra – 17%, ^{232}Th – 1%, и ^{40}K – 7%; *средно замърсени* с: ^{238}U – 10%, ^{226}Ra – 10%, ^{232}Th – 13%; *слабо замърсени* с: ^{238}U – 10%, ^{226}Ra – 3%, ^{232}Th – 47% и ^{40}K – 53%. Практически без замърсяване с: ^{226}Ra са 3% от техногенните почви, ^{232}Th – 29% и ^{40}K – 37%.

4. При 70% от обектите средната активност на ^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K в дънните утайки е формирана по водноерозионен път, което е показателно за въздействието на провежданата дейност и наличието на миграция на замърсителите.

5. Установено е нарушено равновесие между естествените радионуклиди ($^{226}\text{Ra}/^{238}\text{U}$; $^{226}\text{Ra}/^{40}\text{K}$; $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$) и различното им поведение в условията на средата.

6. Доказани са значими корелационни зависимости между активността на изследваните нуклиди, механичният състав, реакцията на почвения разтвор и съдържанието на органичен въглерод и някои тежки метали.

7. Установено е замърсяване на техногенните почви от обекти: „Борче“, „Яворовец“, „Сливен“, „Калъч борун“ с мед, цинк, олово и арсен и „Крушев дол“ с олово.

8. Прилаганият способ на добивна дейност (открит и подземен) оказва въздействие чрез установени по-високи средни концентрации на тежки метали в техногенните почви от открития добив в сравнение с тези, формирани

след подземен добив (при еднакви почвообразуващи скали) за обекти: „Калъч борун“ и „Планинец“.

9. За зоналните почви е характерно: слабо замърсяване с Cd при канелените горски почви от района на Буховското рудно поле; слабо замърсяване с Cu и средно с Pb при канелените горски почви от района на рудник „Курило“; завишен педогенен фон за олово – кафява горска почва от района на Трънско Краище.

10. Поведението (миграция и/или акумулация) на замърсителите (естествени радионуклиди и тежки метали и металоиди) зависи от: петрографския състав на депонираните субстрати, интензивността на изветрянето им, предопределена от прилагания способ на добив, специфичните климатични и релефни особености и реакцията на почвения разтвор.

11. Установена е ясна диференциация на обектите по температурен и влажностен режим, което обуславя различна интензивност на изветряне и различно поведение на замърсителите в рушивните продукти на изветрянето.

12. Съществуващите релефни форми предопределят активни денудационни прояви и изнасяне на рушивните продукти на изветрянето.

13. Микроскопският анализ на шлифи от скални образци показва началната напуканост, която е предопределена с начина на добив на суровината и се развива интензивно при екзогенни условия с процесите на изветряне. Наличието на люспести (серицит, хлорит и глинесто вещество) и рудни (хематит, вторично изменен пирит и др.) минерали във и около пукнатините стимулира и улеснява протичането на физически и химически изветрителни процеси, като изветрителните процеси протичат активно в междуслойното пространство на слоистите силикати.

14. Веществената минерална характеристика индикира:

- Преобладаващо наличие при всички изследвани техногенни почви на минерали от *леката фракция* (кварц и фелдшпати), количеството на които варира в зависимост от петрографските особености на обектите. Ясно се диференцират протичащи процеси на изветряне чрез промени в количествения състав на кварца в повърхностните и дълбочинните пластове; промени във фелдшпатите, изразени със замътняване и слаба каолинизация (глиняване) на по-дребните зърна микроклин – техногенни почви от: участък „V шахта“, рудник „Сборище“, рудник „Сливен“ и рудник „Балкан“; пигментиране с железни хидроксида (при албита) – участък „V шахта“ и рудник „Балкан“; силна серитизация, а в отделни случаи поява на натрупи от епидот или единични хлоритови люспи (участък „Сборище“). Има ясна тенденция за увеличаване на количеството на фелдшпатите в дребнозърнестите (изветрели) механични фракции.

- В състава на *тежката фракция* участват пирит, гетит, гибсит, магнетит и сфалерит, представени главно в техногенните почви от участък „V шахта” (пирит, гетит и магнетит) и много по-слабо при техногенните почви от: участък „Кара тепе” (пирит), рудник „Балкан” (гетит и гибсит) и рудник „Сливен” (сфалерит). Наличието на минерали на железни (гетит) и алуминиеви хидроксиди (гибсит), екзогенни продукти на окислени железосулфидни минерали е признак за интензивно изветряне на първичните минерали и е индикатор на протичащи съвременни процеси. Лесното изветряне на минералите на тежката фракция в повърхностни условия води до формиране на силно кисели дренажни води и е допълнителна предпоставка за излужване на редица редки и тежки метали, съдържащи се в депонираните скални маси.

- Високо *дисперсните минерали* са представени основно от мусковит, илит, хлорит и по-слабо от каолинит; мусковитът е характерен за техногенните почви от всички обекти. Количеството му варира силно в зависимост от петрографския състав на депонираните материали. Каолинитът присъства само в техногенните почви от: „западни” табани (участък „V шахта”) и рудник „Сливен”, като количественото му участие нараства от по-грубозърнестите към по-фините микронни фракции. Глинестите минерали са пигментирани от органично вещество. Последното се среща и във вид на натрупани, по-силно или слабо пиритизирани и е с алохтонен произход.

Развитието на техногенните почви е на стадий „рахлости” – наблюдава се съхранение на особено устойчивите минерали с преобладаване на първичните минерали над вторичните. Този минералогичен състав определя някои основни свойства и качества на изследваните техногенни почви.

15. В оксидния състав на всички изследвани техногенни почви, независимо от различията в почвообразуващите материали, преобладава съдържанието на SiO_2 , резултат на преобладаващото участие на устойчиви на изветряне силикатни минерали в рамките на изследваната дълбочина. Активното изветряне и дезинтеграция на депонираните скални субстрати и въздействието на инфилтрираните метеорни води при всички изследвани техногенни почви резултатират в слаба тенденция за диференциация на профила в дълбочина по показател максимална концентрация на Si и протичането на елементарни процеси почвообразуване – излужване на базичните елементи.

16. Интензивността на изветряне, проследена чрез индексите на изветряне показва, че при преобладаващата част от изследваните техногенни почви скоростта на изнасяне на алкалните и алкалоземните елементи, в т.ч. Al_2O_3 от повърхностния слой е по-интензивна в сравнение с изнасянето на SiO_2 . При тази обстановка като цяло в повърхностните хоризонти се натрупва SiO_2 .

17. В състава на дренажните води преобладават катионите на Ca, Mg, Mn, Zn. За условията на изследваните техногенни почви от участък „V шахта” оловото и медта са слабоподвижни мигранти, докато цинкът, кадмият и манганът са с много висока и висока подвижност.

18. Доказано е, че изследваните техногенни почви са несвързани, разнoзърнести и по същество представляват скални субстрати от зърнести, раздробени скали, вариращи в размера си от едър чакъл до среден пясък. Коефициентът на разнoзърненост варира силно в зависимост от петрографския състав на рудовместващите скали, прилаганите методи за добив и интензивността на изветрителните процеси. Зърнометричният състав индикира протичането на изветрителни процеси с различна интензивност в зависимост от климатичните условия и литоложкия състав. Изветрителните процеси са най-активни в повърхностния (0 – 20 cm) слой, където в зависимост от петрографския състав преобладаващо участие имат: чакълестата и пясъчната фракция („V шахта“, „Сливен“, „Калъч борун“) или праховата фракция („Сборище“, „Здравец“).

19. Механичният състав на формираните техногенни почви разкрива съществуващата ясна връзка между минералогичния състав на депонираните скални субстрати и времето на експонирането им върху земната повърхност. При преобладаващото участие на минерали от леката фракция и период на експониране от 35 до 64 г. депонираните скални субстрати изветрят, като формираните техногенни почви са с лек механичен състав в повърхностните пластове, вариращ от пясък до праховит пясък, а в дълбочина – с лек до среден механичен състав (праховит пясък до пясъчливо праховит) в резултат на протичащи процеси на вмиване на фината (прахова и глинеста) фракция с метеорните води (лесиваж). Профилното разпределение на фракциите търпи промени във връзка с интензивността на изветряне.

20. Дезинтеграцията на депонираните скални субстрати е свързана с формирането на значими количества инертни фракции (пясъчливи и прахови) и минимални количества реактивна фракция (глинеца), минералният състав на които е богат с естествени радионуклиди (^{238}U , ^{226}Ra , ^{40}K и ^{232}Th) и тежки метали, съпътстващи урановото орудяване (Cu, Zn, Pb и Mn). Механичният състав на техногенните почви се влияе силно от количеството на атмосферните валежи, което създава условия за акумулация и/или транслокация и миграция на съдържащите се в механичните фракции естествени радионуклиди и тежки метали с инфилтрираните метеорни води и повърхностния воден отток. Настъпващите промени във времето в механичния състав на техногенните почви ще влияят съществено на физикохимичните свойства на техногенните почви.

21. Активната киселинност на изследваните техногенни почви варира от: екстремно кисела до слабо алкална (обекти от Старопланинския масив), силно

кисела до много слабо алкална (обекти от Рило-Родопския планински масив) и от слабо кисела до много слабо алкална (обекти от Трънско Краище) в зависимост от литоложкия състав на депонираните субстрати и прилаганата технология за добив. Доказана е зависимост на реакцията на почвения разтвор от прилаганата технология на добив и активността на протичащите изветрителни процеси. Установени са зависимости между активността на радионуклидите и тежките метали и реакцията на почвения разтвор.

22. Съдържанието на органичен въглерод при всички техногенни почви се оценява на много ниско и ниско и не изпълнява водеща роля за сорбиране на замърсителите. Установени са отрицателни зависимости между съдържанието на естествени радионуклиди и съдържанието на органичен въглерод в техногенните почви, както и между съдържанието на тежки метали и съдържанието на органичен въглерод. Доказаното намаляване на съдържанието на органичен въглерод с увеличаване на дълбочината при техногенните почви от обекти: „Селище“, „Елешница“, „Добролък“, „Партизанска поляна“, „Здравец“ и „Наречен“ е индикатор за протичащи начални почвообразователни процеси.

23. Акумулацията на естествени радионуклиди (^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th) и тежки метали в растителността е обусловена от видовия състав на растителността, концентрациите на замърсителите в техногенните почви и техните свойства.

24. Прогнозираните промени в реакцията на почвения разтвор водят до: увеличена активност на радионуклидите (^{232}Th – участък „V шахта“; ^{226}Ra , ^{238}U – рудник „Рибарица“; ^{40}K , ^{232}Th – рудник „Яворовец“; ^{40}K , ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{238}U – рудник „Селище“; ^{226}Ra , α -активност – рудник „Здравец“), намалена активност на радионуклидите (^{40}K – участък „V шахта“; ^{226}Ra , ^{232}Th – рудник „Партизанска поляна“; ^{226}Ra , ^{238}U – участък „Крушев дол“) и риск за околната среда, поради стимулиране на процесите на изветряне и нарасналата миграционна способност на замърсителите с пренос към подземните води.

25. Натрупаните знания и приложен опит правят възможно възстановяването на нарушените терени чрез прилагането на строго диференцирани техники и технологии в зависимост от активността на ^{226}Ra в почвата.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализът на резултатите от изследванията за установяване специфичната активност на естествени радионуклиди и съдържанието на тежки метали и металоиди в техногенни почви показва приноса на първите при оценката на степента на замърсяване и риска за човешкото здраве и околната среда от провежданите геолого-проучвателни и добивни работи на уранова руда. Установените средни нива с граници на вариране на специфична активност на ^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th класифицират изследваните техногенни почви като опасно замърсени при 90% от обектите. Оценката на радиологичните показатели показва, че при 97% от обектите изследваните техногенни почви и дънни утайки превишават граничните стойности за еквивалент на радиева активност (370 Bq.kg^{-1}) и индекса на външна радиационна опасност ($\leq 1 \text{ Bqkg}^{-1}$), а по показател ниво на абсорбираната доза във въздуха на 1 m височина над земната повърхност ($D\gamma, \mu\text{Gy h}^{-1}$) – 100% от обектите превишават допустимата стойност.

Петрографските и минералните различия, климатичните условия, особеностите на техногенния релеф и продължителният период на експониране върху земната повърхност са основните фактори, от които зависи интензивността на изветряне на депонираните скални субстрати (техногенни почви) и миграцията на замърсителите с рушивните продукти на изветрянето. Наличието на рудни минерали и образуванията при окислението им силно кисели дренажни води при някои от обектите създават условия за излужване на редките и тежките метали, съдържащи се в изветрящите депонирани скални маси. В състава на формираните при изветрянето продукти преобладава леката фракция (кварц и фелдшпати), което предопределя всички физични и химични свойства на техногенните почви – те са разнородни, инертни, с груб зърно-метричен състав, с лек механичен състав, с доказани рискови концентрации на замърсители в грубата фракция, лесно поддаваща се на ерозионното въздействие на атмосферните води, с широко вариране на реакцията на почвения разтвор в граници от силно киселите до слабо алкалните позиции и минимално съдържание на органичен въглерод. Това предопределя активен преход на радионуклидите и някои тежки метали в растителността и поставя въпроса за целесъобразността от ползването на тези почви за стопански цели, задължителното прилагане на диференцирани подходи при рекултивацията им и мониториране на качествените показатели на техногенните почви с оглед настъпващите промени в състава и свойствата им във времето.

14. Приноси

Научни приноси

1. За първи път е систематизирана и обобщена наличната и собствената информация за специфичната активност на естествени радионуклиди (^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , α - и β -активност) на зонални и техногенни почви, повлияни и формирани от геолого-проучвателни и добивни дейности на уранова руда на територията на 30 обекта, разположени в Старопланинския и Рило-Родопския планински масив и Трънско Краище. Създадената база данни е основа за последващи научни изследвания.

2. Доказано е, че активността на естествени радионуклиди (^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , α - и β -активност) в изследваните техногенни почви изисква регионална оценка поради наличието на радиологичен риск за околната среда и човешкото здраве.

3. За първи път техногенните почви са класифицирани по степен на замърсеност и риск за околната среда и човешкото здраве. Определено е поведението на замърсителите с протичащи процеси на акумулация и миграция и влиянието на факторите, които го контролират. Получените резултати са теоретична основа за решаването на редица научни и научно-приложни проблеми.

4. Допълнена е съществуващата информация за средното съдържание на естествени радионуклиди (^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , α - и β -активност) в канелени, сиви, кафяви и тъмноцветни горски почви в техногенно натоварени райони в страната.

5. За първи път за условията на техногенни почви, формирани от уранодобивната промишленост, са получени корелационни зависимости между: замърсителите (естествени радионуклиди), замърсителите с различно естество (радионуклиди и тежки метали), замърсителите и основни почвени показатели (механичен състав, рН и органичен въглерод), както и между замърсители и растителност.

6. Систематизирана и обобщена е информацията за съдържанието на тежки метали и металоиди в канелени горски, сиви горски, кафяви горски и тъмноцветни горски почви от техногенно натоварени райони в горските територии на страната.

7. Получена е нова и оригинална информация за динамиката на процесите на изветряне и протичащите начални процеси на почвообразуване при техногенни почви, формирани след геолого-проучвателни и добивни работи на уранова руда.

8. Получена е нова и оригинална информация за акумулацията на замърсителите (естествени радионуклиди и тежки метали и металоиди) в растителността от райони на уранодобивната промишленост.

Научно-приложни приноси

9. Направена е комплексна оценка на основните източници на замърсяване на почвите в райони от горските територии, които покриват 90% от обектите с провеждани търсещо-проучвателни и добивни дейности на уранова руда в страната. Създадената база данни е основа за следващи проучвания и база за мониториране съдържанието на замърсителите.

10. Определена е средната активност на естествени радионуклиди (^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , α - и β -активност) с граници на вариране в зонални и техногенни почви от горските територии в страната, засегнати от уранодобива. Обобщената информация от данни е базова за бъдещи изследвания за целите на рекултивацията в такива райони.

11. Доказано е, че активността на естествени радионуклиди (^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , α - и β -активност) в изследваните техногенни почви:

- се подчинява на регионални различия, обусловени от състава на рудовместващите скали, прилаганата технология за добив и наличието на разпилян или изоставен материал с концентрации равни или близки до рудните съдържания в обхвата на всеки един обект;

- значимо превишава приетите средни активности за почвите в България (UNSCEAR, 2000);

- значимо превишава приетите от МОСВ референтни стойности за: ^{238}U и ^{226}Ra (при всички обекти). Изключение правят установените средни активности на ^{226}Ra (участък „Кара тепе“ и техногенните почви от района на шахта „Поляне“); ^{232}Th при 13% от обектите (участък „Кара тепе“, рудник „Здравец“, рудник „Добролък“ и рудник „Наречен“) и за ^{40}K – при 7% от обектите (рудник „Наречен“ и рудник „Планинец“ – подземен добив); α -активност (участък „Калъч борун“, рудник „Елешница“, рудник „Здравец“ и рудник „Наречен“) и β -активност (участък „Калъч борун“, рудник „Елешница“, рудник „Здравец“ и рудник „Наречен“).

Получените резултати са основа за актуализиране на съществуващата нормативна уредба, касаеща земи от горските територии, засегнати от провеждани геолого-проучвателни и уранодобивни работи.

12. Определени са специфични радиологични показатели на риска от почвите и дънните утайки от територията на всички уранодобивни обекти, резултатите от които са база за мониторингови изследвания и взимане на решения за бъдеща рекултивация.

13. Получената оригинална информация за акумулацията на естествени радионуклиди и тежки метали и металоиди в растителността от уранодобивните обекти и направените изводи са основа за определяне режима на земеползване и ограничаване размера на земите за земеделско ползване в такива райони поради високото съдържание на тежки метали и радионуклиди, и улеснения преход на токсикантите по веригата почва – растение – човек.

14. На база получените корелационни зависимости е моделирано поведението на естествените радионуклиди при понижение на активната киселинност с 1 рН единица. Направените прогнози на риска за околната среда са основа за решения за бъдеща рекултивация.

15. Разработени са и са изпълнени в практиката два типа технологии за рекултивация, които може да намерят приложение при нерекултивирани обекти.

Публикации, свързани с темата на дисертационния труд

1. Петрова, Р., Пл. Николов. Почвени и радиоекOLOGични проучвания в района на село Елешница във връзка с рекултивацията на насипища от уранодобивната промишленост. – В: Наука за гората, 1994, 2, 47 – 57.
2. Петрова, Р. Сравнителна характеристика на насипища от уранодобивната промишленост във връзка с тяхната рекултивация. – В: Почвознание, агрохимия и екология, 1994, 4-6, 110 – 111.
3. Петрова, Р., Пл. Николов, Д. Пресиянов. Биологическа акумулация на радий в растителност върху насипища от добив на уранова руда. – В: Сборник юбилейна научна конференция с международно участие: 100 г. от рождението на акад. Б. Стефанов, Т. 1, София: Пъблиш-Сай-Сет-Агри, 1995, 250 – 253.
4. Петрова, Р. Плодородие на субстрати от Буховското рудно поле. – В: Наука за гората, 1995, 1, 50 – 60.
5. Петрова, Р. Рекултивация на насипища от добив на уранова руда. – В: Сборник научни доклади: Юбилейна научна конференция 125 г. БАН и 65 г. ИГ. София, 1995, 210 – 215.
6. Петрова, Р., Д. Пресиянов, Ц. Ценов, Е. Марков. РадиоекOLOGична характеристика на антропогенно повлияни горски екосистеми от Родопския планински масив. – В: Наука за гората, 1996, 2, 17 – 26.
7. Петрова, Р., Л. Йончев. Оценка на радиоекOLOGичните показатели и мероприятия за саниране и рекултивация на района около уранов рудник „Сливен“ (Вилна зона). – В: Сборник доклади от научно-техническа конференция по охрана на труда в подземните и откритите рудници и кариерите. България – Варна 8-11 юни 1998 г. Т. 2, 1998, 272 – 280.
http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/31/032/31032961.pdf
8. Петрова, Р. Изследвания върху интензивността на изветряне на депонирани скални субстрати от подземен добив на уранова руда. – В: Наука за гората, 1999, 3/4, 73 – 88.
9. Петрова, Р. Климатична характеристика на обекти от уранодобивната промишленост. – В: Наука за гората, 1999, 3/4, 63 – 72.
10. Петрова, Р. Изследвания върху миграцията на тежки метали в растителност и насипни субстрати от уранодобивната промишленост. I. Съдържание на тежки метали в насипни субстрати. – В: Наука за гората, 1999, 1/2, 79 – 89.
11. Петрова, Р. Изследвания върху миграцията на тежки метали в растителност и насипни субстрати от уранодобивната промишленост. II. Акумулация на тежки метали в растителност. – В: Наука за гората, 1999, 1/2, 89 – 103.

12. Petrova, R., R. Nedialkov. Qualitative and Quantitative Peculiarities of Embanked Substratum from Underground Production of Uranium Ores. – *Journal Silva Balcanica*, 2001, 1, 79 – 91.

13. Петрова, Р. Изследвания върху химичния състав на дренажни води от уранови насипища. – In: *Third Balkan Scientific Conference “Study, Conservation and Utilization of Forest Resources*, v. III. София: Academic Publishers, 2001, 298 – 305.

14. Петрова, Р. Выветривание скальных пород на отвалах после добычи урановых руды. Способы их рекультивации. – В: *Биологическая рекультивация нарушенных земель*. Екатеринбург: РАНУО, 2003, 393 – 398. УДК 502.654:631:581.6+582.232.

15. Petrova, R. Accumulation of natural radionuclides in wooden and grass vegetation from abandoned uranium mines. – In: *Opportunities for phytoremediation*. Berlin: Springer Verlag, 2005. pp. 507 – 519.

16. Petrova, R. Landscape recovery of abandoned uranium mining area in Stara planina mountain. – In: *International Symposium Sustainable forestry – Problems and Challenges perspectives and challenges in wood technology*. 24th – 26th October, Ohrid, Macedonia, 2007. pp.181 – 188.

17. Петрова, Р., Б. Табаков, Л. Мирчева, Е. Колев. Специфични екологични проблеми и методи за тяхното решаване при рекултивация на минни обекти. – In: *Proceedings of the International Scientific Technical Conference under the patronage of Nona Karadjova – Minister of Environment and Water in Republic of Bulgaria “Ecology Problems in Mineral Raw – Material Branch”*, 28 August – 1 September 2011, International House of Scientists “Fr. J. Curie” Varna, Bulgaria, 2011. 253 – 260. ISBN: 978-954-92738-3-0.

18. Табаков, Б., Р. Петрова, Е. Колев, М. Фивек. Оценка на екологичния риск – основно средство при избор на решения за опазване на околната среда при управление на минните отпадъци. – In: *Proceedings of the International Scientific Technical Conference under the patronage of Nona Karadjova – Minister of Environment and Water in Republic of Bulgaria “Ecology Problems in Mineral Raw – Material Branch”*, 28 August – 1 September 2011, International House of Scientists “Fr. J. Curie” Varna, Bulgaria. 2011. 201 – 208. ISBN: 978-954-92738-3-0.

19. Петрова, Р. Характеристика на техногенни почви, формиращи от добив на уранова руда от обекти в Старопланинския масив. С.: МАТКОМ, 2013, с. 364. ISBN: 978-954-9930-76-4.

Благодарности

Изказвам моята сърдечна благодарност на семейството ми, на проф. д-сн Светла Генчева, която ми показва пътя в науката и беше първият ми учител в областта „Рекултивация на нарушени терени”, на колегите от ЛТУ – катедра „Почвознание” и гл. ас. д-р Елена Цветкова, на проф. дн Добромир Пресиянов – Физически факултет на СУ, на колегите от Института за гората – БАН, на д-р инж. Ботьо Табаков, с който ме свързва дългогодишна работа по обектите на урановата промишленост в България. Благодаря!