



**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИ СЪЮЗ ПО
МИННО ДЕЛО, ГЕОЛОГИЯ И МЕТАЛУРГИЯ**

СБОРНИК С ДОКЛАДИ

Шеста национална научно-техническа конференция

Минералните ресурси и устойчивото развитие

20 ноември 2025



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИ СЪЮЗ ПО МИННО ДЕЛО, ГЕОЛОГИЯ И МЕТАЛУРГИЯ

Съорганизатори

Федерация на научно-техническите съюзи в България
Българска академия на науките
Българска минно-геоложка камара
Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски"
Съюз на учените в България

СБОРНИК С ДОКЛАДИ

Шеста национална научно-техническа конференция

“МИНЕРАЛНИТЕ РЕСУРСИ И УСТОЙЧИВОТО РАЗВИТИЕ”

РЕДАКЦИОНЕН СЪВЕТ

акад. Иван Загорчев, проф. д-р Радослав Наков,
проф. д-гн Румяна Вацева, доц. д-р Светослав Георгиев,
доц. д-р инж. Кремена Дедеянова,
доц. д-р Никола Ботушаров, инж. Щерьо Щерев

ISSN: 2534-9295

Научно-технически съюз по минно дело, геология и металургия



140
ГОДИНИ

ФЕДЕРАЦИЯ
НА НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИТЕ
СЪЮЗИ В БЪЛГАРИЯ



СЪДЪРЖАНИЕ

1	КРАТЪК ПРЕГЛЕД ВЪРХУ УСПЕШНИ НОВИ ТЕХНОЛОГИИ ЗА ВЪЗСТАНОВЯВАНЕ НА КРИТИЧНИ СУРОВИНИ <i>Полина Величкова</i>	1
2	ЦЕЛИТЕ ЗА УСТОЙЧИВО РАЗВИТИЕ ДО 2030 Г.: ГЛОБАЛНИ ТЕНДЕНЦИИ, НАЦИОНАЛНИ ПРЕДИЗВИКАТЕЛСТВА И РОЛЯТА НА МИННАТА ИНДУСТРИЯ <i>Елия Стоянова, Виктор Витов</i>	7
3	КОНЦЕПЦИЯ ЗА РАЗРАБОТВАНЕ НА WEB-БАЗИРАНА СИСТЕМА ЗА КРИТИЧНИ И СТРАТЕГИЧЕСКИ СУРОВИНИ В БЪЛГАРИЯ <i>Милослав Кацаров Румяна Вацева, Аглаида Тотева, Дейвис Динков, Антоанета Пенева</i>	16
4	ИНВЕНТАРИЗАЦИЯТА НА „МИНЕРАЛНИТЕ ОТПАДЪЦИ” ОТ РУДОДОБИВА, ОБОГАТЯВАНЕТО И МЕТАЛУРГИЯТА НА МЕДТА- СРЕДСТВО ЗА РАЗШИРЯВАНЕ НА СУРОВИННАТА БАЗА НА Р. БЪЛГАРИЯ <i>Любомир С. Илчев, Надежда Г. Давчева-Илчева</i>	22
5	ПАРАДИГМАТА ЗА УСТОЙЧИВО РАЗВИТИЕ <i>Любомир Денчев</i>	27
6	ГЕОХИМИЧНИ И МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧНИ ИНДИКАТОРИ В ПРОУЧВАНЕТО НА НАХОДИЩА НА КРИТИЧНИ И СТРАТЕГИЧЕСКИ СУРОВИНИ В БЪЛГАРИЯ: РАЗВИТИЕ НА МЕТОДИКИ И ПРИЛОЖЕНИЯ <i>Ирена Пейчева, Атанас Хиков, Радослав Калчев, Стоян Георгиев, Елица Стефанова, Анастасия Стоянова, Мариана Трифенова, Десислав Иванов</i>	32
7	ГАЗИФИЦИРАНЕ НА ВЪГЛИЩА С ЦЕЛ ЗАДОВОЛЯВАНЕ НА НУЖДИТЕ ОТ ЕНЕРГИЯ ЗА ДОБИВ НА КРИТИЧНИ И СТРАТЕГИЧЕСКИ СУРОВИНИ В БЪЛГАРИЯ (НАЦИОНАЛНА НАУЧНА ПРОГРАМА: КРИТИЧНИ И СТРАТЕГИЧЕСКИ СУРОВИНИ ЗА ЗЕЛЕН ПРЕХОД И УСТОЙЧИВО РАЗВИТИЕ) <i>Ирена Костова, Деница Апостолова, Данаил Йовчев</i>	42

8	ВЪГЛИЩАТА В СВЕТОВНИЯ ЕНЕРГИЕН МИКС – ЗНАЧЕНИЕ И ПЕРСПЕКТИВИ	50
	<i>Станислав Топалов, Иван Марков, Евтим Кърцелин</i>	
9	БЪЛГАРИЯ КАТО ТРАНЗИТЕН КОРИДОР НА ПРИРОДЕН ГАЗ	58
	<i>Пламен Павлов</i>	
10	BIOREMEDIATION OF MINING WASTEWATER THROUGH BIOELECTROCHEMICAL SYSTEMS	72
	<i>Kaloyan Nikolov, Petia Genova, Rosen Ivanov, Sotir Plochev</i>	
11	МИНЕРАЛЕН И ХИМИЧЕН СЪСТАВ НА АЛБИТИТИ ОТ НАХОДИЩЕ КАНАРАТА, САКАР ПЛАНИНА, ЮГОИЗТОЧНА БЪЛГАРИЯ	79
	<i>Мартин Димитров, Снежан Люцканов, Любомир Михайлов, Радостина Атанасова</i>	
12	ПРИЛОЖЕНИЕ НА ОПТИЧНА ЕМИСИОННА СПЕКТРОМЕТРИЯ С ИНДУКТИВНО СВЪРЗАНА ПЛАЗМА С РАДИАЛНО НАБЛЮДЕНИЕ И ВИСОКО РАЗДЕЛЯНЕ ПРИ ОПРЕДЕЛЯНЕ НА РЕНИЙ В МОЛИБДЕНИЕВИ И МЕДНИ КОНЦЕНТРАТИ	87
	<i>Николая Величкова, Олга Велева, Методи Караджов, Серафим Величков, Нонка Даскалова</i>	
13	ВЪРХУ ДЕБАТА ЗА МЯСТОТО НА АБИОГЕННИЯ МЕТАН В ПРИЛОЖНАТА ГАЗОВА ГЕОЛОГИЯ	96
	<i>Йордан Йорданов</i>	



КРАТЪК ПРЕГЛЕД ВЪРХУ УСПЕШНИ НОВИ ТЕХНОЛОГИИ ЗА ВЪЗСТАНОВЯВАНЕ НА КРИТИЧНИ СУРОВИНИ

Полина Величкова

Катедра „Инженерна геоестрология“, Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“,
София 1700, България; E-mail: polina.velichkova@mgu.bg

РЕЗЮМЕ

Критичните суровини са изключително ценни ресурси, които са важни за стратегическите сектори на икономиката, но са подложени на високи рискове за доставките поради геополитически, търговски или природни фактори. Направен е кратък преглед на добрите примери при новите технологии за добив, преработка и възстановяване на критични суровини в ЕС. Най-големият проект REACOS вече има изградена пилотна инсталация на територията на Гърция, която включва няколко модула за рециклиране на злато, сребро и редкоземни елементи от стари автомобилни катализатори, печатни платки и фотоволтаици. Освен това успешно се внедряват и методи за извличане на суровини от океанските дъна.

Ключови думи: критични суровини, рециклиране, енергийна и икономическа независимост, кръгова икономика, зелен преход

Състояние на проблема с необходимостта от критични суровини

През 2020 г. глобалните емисии на въглероден диоксид са достигнали 34,81 милиарда тона, а средната годишна концентрация на въглероден диоксид - 412,5 ppm. Това е с около 50% по-високо, отколкото в началото на индустриалната революция. Превозните средства, работещи с гориво, също формират основата на съвременната транспортна и логистична индустрия. Високовъглеродните изкопаеми енергийни източници (въглища и петрол) все още доминират в енергийния сектор, въпреки че съществуват алтернативни възобновяеми горива. Делът на възобновяемата енергия се увеличава, а електрификацията на транспортните системи продължава да напредва (Dou et al., 2023).

В световен мащаб държавите се стремят към въглеродна неутралност и инвестират в намаляване на емисиите. За постигане на т. нар. „нетна нула“ обаче са необходими критични суровини (антимон, арсен, алуминий/боксит, барит, берилий, бисмут, бор, мед, фелдшпат, флуорит, галий, германий, хафний, хелий, литий, магнезий, манган, графит, никел, ниобий, фосфати, скандий, силиций, стронций, тантал, титан, волфрам, ванадий и платинова група елементи, включваща платина, паладий, родий, рутений и осмий, съгласно Законодателния акт на ЕС за суровините от критично значение, приет през 2024 г.), които са от съществено значение за високотехнологичните продукти.

За изработката на електрически автомобил се изискват шест пъти повече минерални ресурси от конвенционално превозно средство, за една наземна вятърна електроцентрала - девет пъти повече от една инсталация за природен газ (Hund et al., 2020). За производството на смартфони се използват около 70 елемента, включително 8–17 редкоземни метала. От 1 милион изхвърлени смартфони могат да бъдат възстановени 16 тона мед, 350 кг сребро, 35 кг злато и 15 кг паладий. Електронните отпадъци като компютри, копирни машини, монитори и домакински уреди също съдържат критични метали като родий, мед и литий (Zaman and Lehmann, 2011; Dou et al., 2023). Редкоземни елементи като литий, кобалт, ниобий, тантал, се използват за електрически батерии, магнитни материали и др.; метали като мед, алуминий, титан и злато са основни за електронните индустрии, на автомобилите и строителството; литий и кобалт са съществени за производството на батерии; графит и фосфати се използват за производство на батерии и торове; производството на електролизатори, необходими за производството на зелен водород включва необходимостта от различни критични минерали, включително платина и иридий, два от най-редките и скъпи метали в света. (WTO Blog). Световната банка изчислява, че около 3 милиарда тона критични минерали ще бъдат необходими за декарбонизация на световната енергийна система до 2050 г. (Prassl, 2020), като производството на минерали като графит, литий и кобалт трябва да се увеличи с близо 500% до 2050 г., за да се задоволи



нуждата от чиста енергия. Германия е постигнала нива на рециклиране от скрап на алуминий и калай над 90%, а Обединеното кралство може да постигне нетен излишък от Li, Mn, Co и Ni от рециклирането на литиево-йонни батерии (Kamran et al., 2021; Dou et al., 2023).

Много критични минерали се намират в по-слабо развити региони на Африка, Южна Азия и Южна Америка, където въоръжените конфликти, корупцията и неефективното управление често водят до нарушения в доставките на ресурси. Дългосрочното технологично развитие и капиталовите инвестиции значително са намалили икономическите разходи за рециклиране на критични суровини. В страните с минерални ресурси добивът и преработката им представляват много предизвикателства за устойчивостта, включително правата на човека, околната среда, конфликтите и отношенията в общността.

Бързият растеж на технологиите за възобновяема енергия предоставя синергични възможности между минната индустрия и технологиите за възобновяема енергия. Повечето от тези сектори зависят от материали, които са от решаващо значение за производителността и играят жизненоважна роля във веригата за доставки на суровини. Политическата нестабилност в региони, които са основни доставчици на критични суровини, както и природните катастрофи или ограничения върху търговията, могат да нарушат доставките. В технологиите за възобновяема енергия тези материали включват кобалт, литий, никел и редкоземни метали. За производството на вятърни турбини, електрически батерии, слънчеви панели и електролизатори са необходими неодим, литий, никел, галий и иридий. Замяната им с други метали обикновено е невъзможна или силно влияе върху ефективността на тази технология.

Критичните суровини са от съществено значение най-вече за икономиката на Европейския съюз (ЕС), тъй като е изключително зависима от външни източници за тези суровини, които играят важна роля в енергийния сектор, електронните технологии, автомобилната индустрия и др. Такива материали включват метали, редкоземни елементи и минерали, които не се срещат в достатъчни количества или не се добиват на територията на ЕС. Около 90% от доставките на редкоземни елементи и над 60% на литий и кобалт идват от Китай (ESGnews.bg). Освен това добивът им от природни руди има дълбоко въздействие върху околната среда. Традиционните техники за разделяне са химически и енергоемки, тъй като техните химични сходства правят редкоземните елементи много трудни за пречистване, изисквайки множество стъпки на екстракция за получаване на продукти с висока чистота. Това подчертава необходимостта от устойчиви и ясни методи за тяхното разделяне.

Добрият пример на нововъведени техники на територията на ЕС за възстановяване на критични суровини

ЕС работи по мерки в подкрепа на малките и средни предприятия, за да преминат плавно през зеления преход и да укрепят вътрешния си пазар като се насърчават инициативи за рециклиране на критични суровини от стари продукти, като батерии и електронни устройства (Промислената политика на ЕС). По-долу ще бъдат разгледани някои от най-обещаващите методи за рециклиране на суровини:

❖ Нови методи за извличане на суровини от океанските дъна (Szabo, 2025).

Те включват дълбоководен добив (на дълбочина над 200 метра) на полиметални сулфиди (съдържащи мед, цинк, злато, сребро), богати на кобалт фероманганови кори (съдържащи кобалт, никел, мед, молибден, телур, елементи от платиновата група и редкоземни елементи) и полиметални нодули (съдържащи манган, желязо, никел, мед, кобалт, молибден, литий и др.) с помощта на дистанционно управляеми превозни средства и хидравлични системи, както и извличане на метали от обезсоляващ разтвор с помощта на нови технологии за разделяне. Новите подходи за събиране на суровини от морското дъно включват използването на роботизирани комбайни, електромагнитно събиране и биоминиране, като предлагат алтернативни методи за устойчив добив. Тези технологии се разработват, за да отговорят на нарастващото търсене на метали в технологии като батерии за електрически превозни средства, вятърни турбини и слънчеви панели, като същевременно се стремят да минимизират въздействието върху околната среда. От приблизително 20 сухи гигатона полиметални нодули биха могли да бъдат извлечени приблизително 260 милиона тона никел, 230 милиона тона мед, 44 милиона тона кобалт и значително количество манган (около 6 гигатона).

❖ Рециклиране на електронни отпадъци със специални екстрактори (Perrin et al., 2024)



Изследователи от Швейцарския федерален технологичен институт в Цюрих (ETH) са разработили нов специално проектиран екстрактор за по-прецизно отделяне на редкоземни елементи от електронни отпадъци („e-waste“). Те са постигнали възстановяване на европий (често срещан във флуоресцентните и енергоспестяващи лампи) до 99% без предварителна обработка на отпадъците.

- ❖ Получаване на металите (PGMs, злато, сребро и др.) от стари автомобилни катализатори, печатни платки, слънчеви панели (<https://www.peacoc-h2020.eu/>)

Проект PEACOC – съкращение от „Предтърговски пилотен проект за ефективно възстановяване на благородни метали от европейски ресурси в края на жизнения цикъл с нови нискобюджетни технологии“ е финансиран по програма „Хоризонт 2020“ и обединява 18 партньора от 9 държави. Мисията му е да усъвършенства хидрометални и електрохимични процеси за получаване на метали (метали от платиновата група, злато, сребро и др.) от стари автомобилни катализатори, печатни платки и фотоволтаични панели, използвайки усъвършенствани, екологично чисти процеси. Концепцията PEACOC се основава на предварително разработени технологии за извличане и рафиниране, подобрени до TRL 5 в проекта PLATIRUS: екстракция и разделяне на метали от платиновата група (PGM), базирани на дълбоки евтектични разтворители (DES), микровълново излугване (MWAL) и газодифузионна електрокристализация (GDEx).

Успехът на пилотния проект MWAL PEACOC се дължи на сътрудничеството между различни партньори, включително белгийската VITO, испанската CEINNMAT и гръцката MONOLITHOS. Докато изследователите на VITO разработват и оптимизират технологията, намалявайки оперативните ѝ разходи и потреблението на химикали, инженерите на CEINNMAT изграждат пилотния проект MWAL, включително микровълновия реактор и системата за управление. Пилотният проект, монтиран в контейнер със стандартен размер, вече е монтиран в Атина, в помещенията на MONOLITHOS, където е тестван, произвеждайки концентрирани от PGM инфилтрати от отработени автокатализатори. Мобилността му отваря вратата за извличане на метали на място в региони, където липсват мащабни инфраструктури.

Процесът на MWAL вече е оптимизиран за рециклиране на други потоци от отпадъци, включително слънчеви панели и електронни отпадъци, разширявайки значението му в целия сектор на зелените технологии. Както подсказва името му, MWAL използва директно микровълново нагряване, за да ускори разтварянето на благородни метали, като същевременно намалява количеството корозивни химикали, обикновено използвани в конвенционалните процеси на рециклиране. След последните стъпки на оптимизация, насочени към по-кратко време за реакция и намаляване на потреблението на химикали, MWAL беше мащабирана до пилотен режим с помощта на CEINNMAT (Испания) и в момента има капацитет да обработва няколко килограма на час. Пилотната инсталация, вече разположена в MONOLITHOS в Атина, включва непрекъснато излугване, наблюдение на температурата и налягането, както и анализ на потреблението на енергия. В началото на 2025 г. партньорите на PEACOC са тествали технологията с реални потоци, демонстрирайки нейния потенциал за промишлени приложения.

Скоро се очаква пилотната инсталация за газова дифузионна електрокристализация GDEx да пристигне в Атина. След като бъде монтирана и свързана с другите модули, се очаква пълномащабният интегриран пилотен проект PEACOC да извлича не само PGM, но и злато и сребро. В рамките на една седмица от експлоатацията се очаква системата да произведе 2 кг метали от платиновата група, 10 кг сребро и 0,5-1 кг злато. Тези рециклирани метали впоследствие ще бъдат реинтегрирани в различни производствени процеси в Европа, като ще бъдат използвани в производството на нови каталитични конвертори, в каталитични наночастици за електрохимични енергийни технологии и в 3D-принтирани продукти, и дори като отделни потоци с висока добавена стойност. Тяхното оползотворяване намалява зависимостта от минни дейности, понижава разходите за материали и подкрепя устойчиви, кръгови икономически практики в критични промишлени сектори. GDEx, селективен електрохимичен процес, използва газодифузионни електроди за индуциране на целенасочено утаяване на благородни метали (като платина и родий) при концентрации под 100 ppm. Процесът е електрически захранван и съвместим с възобновяема енергия, както е демонстрирано в проекта FIREFLY. Последната характеристика предлага ефикасна алтернатива на енергоемките хидрометалургични процеси. Наночастиците, получени чрез процеса GDEx, са демонстрирали



електрокаталитична производителност, сравнима с тази на търговските катализатори, което предполага потенциална пригодност за приложения в горивни клетки. Технологиата е гъвкава и ефективна, като се обмисля нейната приложимост в различни индустрии, извън обхвата на проекта PEACOC.

Процесът NOVA, разработен в Университета в Лиеж (Белгия) в сътрудничество с COMET Group (Белгия) и насочен към средно- и нискокачествени печатни плочки (PCBA), използва механична активация и електрохимия за отделяне и сортиране на електронни компоненти. Целта е металите, налични във фракцията на електронните компоненти, да се насочат към правилната металургия в следващите стъпки на рециклиране. Техният процес е насочен към благородни метали като злато и сребро, но също така и към калай и мед, налични в тези електронни компоненти. Процесът NOVA може да концентрира над 94% от златото и значителни количества калай и сребро в специални изходни потоци, като по този начин увеличава стойността на иначе нискокачествените/безинтересни отпадъци от електронно и електрическо оборудване.

- ❖ Усъвършенствани сензори и интелигентни модели за добив и обогатяване на нискокачествени руди (CORDIS, <https://cordis.europa.eu/project/id/642201>)

Учените от проект OptimOre, също финансиран по програма „Хоризонт 2020“, са разработили усъвършенствани софтуерни модели, изкуствен интелект и нови сензорни технологии за оптимизиране процесите на раздробяване, смилане и разделяне на волфрамови и танталови руди, увеличавайки добивите с до 12% и спестявайки 5% от разходите за енергия. Целта е да се подобри независимостта на Европа от критични суровини чрез създаване на по-ефективен и гъвкав метод за извличане на тези минерали от нискокачествена руда.

- ❖ Нови катализатори и наноструктурирани материали за селективно извличане на метали (Li et al., 2022; Hayat et al., 2024)

Различни учени са установили че редуциран графенов оксид (rGO) може успешно да се използва за извличане на злато от електронни отпадъци с висока селективност и капацитет (ефективност около 99%).

- ❖ Нови техники за интегриран добив, преработка и рециклиране на вторични суровини (PreZero; TriFluorium)

Вторичните суровини са материали, получени от отпадъци и продукти с изтекъл срок на годност, които може да се използват отново след рециклиране. PreZero предоставят устойчиви и реалистични алтернативи на настоящите линейни материални потоци. Те се събират, сортират и рециклират отпадъците от потреблението и промишлеността като ги и връщат на потребителя отново в затворен цикъл, запазвайки ресурси и увеличавайки максимално стойността. Цикълът започва със събиране на отпадъците от фирми или частни домакинства, като рециклируемите материали се съхраняват отделно в предоставени контейнери, оптимизирани по местоположението. След това те се транспортират до съоръженията на фирмата с помощта на специализирани превозни средства и оптимизирани маршрути. В сортировъчната инсталация отпадъците първо се сортират в различните фракции. Потоците от материали се подготвят за рециклиране и се обработват предварително. По време на рециклирането рециклируемият материал се преработва във висококачествен рециклиран материал, който може да се използва повторно като устойчива суровина. Накрая, рециклиран материал се използва за производството на нови стоки и опаковки за потребителите и цикълът започва отначало.

TriFluorium има за цел да разшири възможностите на кръговата икономика, като въведе нов подход за рециклиране, използващ триболиза - механохимичен процес, който позволява безопасно, устойчиво и ефикасно регенериране на флуор в ценни промишлени ресурси, като например флуоршпат. Предвид критичната роля на флуорополимерите в ключови индустрии като полупроводници, производство на водород, горивни клетки и електрически превозни средства, установяването на техните стратегии за рециклиране е от съществено значение за преодоляване на ограниченията на настоящите стратегии за изхвърляне и за намаляване на зависимостта от внос на флуоршпат като критична суровина, която понастоящем има нисък процент на рециклиране от само 1% в ЕС.

- ❖ Внедряване на интелигентни методи при проучвания и добив

Целта на проекта REXPro е развитието и приложението на интелигентни методи и технологии за проучване, устойчив и възстановяващ добив и ефективна преработка на първични руди в три основни



генетични типа действащи находища в България. Търсят се възможности за повишаване на извлекаемостта на основните метали и концентриране на съпътстващи елементи от групата на критични и стратегически суровини в полезния компонент, за преоценка на междинния и краен отпадък като бъдещ източник на суровини при едновременно намаляване на общото му количество. Методиката интегрира минералого-геохимични, геохронологични, недеструктивни магнитометрични изследвания и приложения на хармонизирани европейски протоколи за мониторинг на тежки метали и живак в седименти от реки.

Обобщение и заключение

Необходимостта от критични суровини в съвременните икономики нараства, тъй като те са необходими за производството не само на технологиите, насочени към борбата с климатичните промени и енергийния преход, но и с редица технологични продукти. Освен това по-голямата част от тях се внасят в страните от ЕС, което води до икономическа и енергийна зависимост на Европа от външни страни. Затова е необходимо да се вземат съвременни мерки и да се намерят алтернативи за разширяване на вътрешното производство. Част от тях са свързани с финансиране на предприятията и насърчаване на изследователите за търсене и въвеждане на нови, екологично съобразни методи за добив и преработка на суровини с критично и стратегическо значение. Изброените примери от методи са само малка извадка от успешните практики, приложени на територията на ЕС, които успешно разрешават недостига на суровини като кобалт, никел, мед, молибден, телур, елементи от платиновата група, редкоземни елементи, злато, сребро, европий и др.

Благодарности

Настоящото изследване е проведено във връзка с изпълнението на Национална научна програма (ННП) „Критични и стратегически суровини за зелен преход и устойчиво развитие“, одобрена с Решение на МС № 508/18.07.2024 г. и финансирана от МОН.

Използвана литература

1. CORDIS. Increasing yield on Tungsten and Tantalum ore production by means of advanced and flexible control on crushing, milling and separation process. DOI: 10.3030/642201. <https://cordis.europa.eu/project/id/642201>
2. Dou S., Xu D., Zhu Y., Keenan R., 2023. Critical mineral sustainable supply: Challenges and governance. *Futures*, 146, 103101-103115. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2023.103101>.
3. ESGnews.bg - Защо Европа трябва да се превърне в център за иновации в добиването на критични суровини? <https://esgnews.bg/evropa-kritichni-surovini/>
4. Hayat M., Waseem M., Arif S., Ali J., Sattar A., Dilpazir S., Hussain K., Tabassam L., 2024. Turning trash into Treasure: Extracting precious metals from e-waste with Electrochemically Exfoliated graphene derivatives. *Chemical Engineering Journal*, 500, 156957-156972, <https://doi.org/10.1016/j.cej.2024.156957>.
5. Hund K., La Porta D., Fabregas T.P., Laing T., Drexhage J., 2023. Minerals for Climate Action: The Mineral Intensity of the Clean Energy Transition. World Bank. <http://hdl.handle.net/10986/40002>. DC, USA: Washington,.
6. Kamran M., Raugei M., Hutchinson A., 2021. A dynamic material flow analysis of lithium-ion battery metals for electric vehicles and grid storage in the UK: Assessing the impact of shared mobility and end-of-life strategies. *Resources, Conservation and Recycling*, 167, 105412-105426. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105412>
7. Li F., Zhu J., Sun P., Zhang M., Li Z., Xu D., Gong X., Zou X., Geim A.K., Su Y., Cheng H-M., 2022. Highly efficient and selective extraction of gold by reduced graphene oxide. *Nature Communications*, 13, 4472-4480. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-32204-4>
8. PEACOC. <https://www.peacoc-h2020.eu/>
9. Perrin M.A., Dutheil P., Wörle M., Mougél V., 2024. Recovery of europium from E-waste using redox active tetrathiotungstate ligands. *Nature Communications*, 15, 4577-4584. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-48733-z>



10. Prassl, V. (2020). Minerals for Climate Action: The Mineral Intensity of the Clean Energy Transition. The World Bank. <https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/099052423172525564/p16627806f5aa400508f8c0bdcba0878a3e>
11. PreZero. <https://prezero-international.com/en/about-us#our-vision>
12. Szabo, L., 2025. Deep-Sea Mining and the Sustainability Paradox: Pathways to Balance Critical Material Demands and Ocean Conservation. *Sustainability*, 17(14), 6580-6613. <https://doi.org/10.3390/su17146580>
13. TriFluorium. <https://trifluorium.eu/>
14. WTO Blog - High demand for energy-related critical minerals creates supply chain pressures. https://www.wto.org/english/blogs_e/data_blog_e/blog_dta_10jan24_e.htm
15. Zaman A.U. and Lehmann S., 2011. Urban growth and waste management optimization towards "zero waste city". *City, Culture and Society*, 2, 177–187. <https://doi.org/10.1016/j.ccs.2011.11.007>
16. Европейски съвет. Законодателен акт на ЕС за суровините от критично значение за бъдещето на веригите на доставки в ЕС. <https://www.consilium.europa.eu/bg/infographics/critical-raw-materials/>
17. Европейски съвет. Промишлената политика на ЕС. <https://www.consilium.europa.eu/bg/policies/eu-industrial-policy/>



ЦЕЛИТЕ ЗА УСТОЙЧИВО РАЗВИТИЕ ДО 2030 Г.: ГЛОБАЛНИ ТЕНДЕНЦИИ, НАЦИОНАЛНИ ПРЕДИЗВИКАТЕЛСТВА И РОЛЯТА НА МИННАТА ИНДУСТРИЯ

Елия Стоянова^{1,2}, Виктор Витов^{1,3}

¹ „Елаците-Мед“ АД, с. Мирково, Софийска област, България

² Университет по архитектура, строителство и геодезия (УАСГ), София, България –
stoyanova.elia@gmail.com

³ Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, София, България – vvitov@abv.bg

РЕЗЮМЕ

Докладът представя глобалния напредък към постигането на Целите за устойчиво развитие (ЦУР) до 2025 г., състоянието на тяхното изпълнение в България и значението на минната индустрия за устойчивото развитие. Докато светът отчита частичен, но недостатъчен напредък, България демонстрира стабилни резултати в социалните области като образование, здравеопазване и изкореняване на бедността, но изостава в иновациите, устойчивото производство и опазването на околната среда. Минният сектор има съществен принос към икономическия растеж и заетостта, но същевременно поражда предизвикателства, свързани с ресурсната ефективност и екологичните щети. Изследването подчертава необходимостта от интегриране на устойчиви практики, прозрачност и по-тясно сътрудничество между държавата, бизнеса и обществото за реализиране на ЦУР до 2030 г.

КЛЮЧОВИ ДУМИ: SDGs, ЦУР, екология, устойчиво развитие, минна дейност

SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS BY 2030: GLOBAL TRENDS, NATIONAL CHALLENGES, AND THE ROLE OF THE MINING INDUSTRY

Elia Stoyanova^{1,2}, Viktor Vitov^{1,3}

¹ „Ellatzite-Med“ AD, Mirkovo village, Sofia region, Bulgaria

² University of Architecture, Civil Engineering and Geodesy (UACEG), Sofia, Bulgaria -
stoyanova.elia@gmail.com

³ University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, Sofia, Bulgaria - vvitov@abv.bg

ABSTRACT

This study presents global progress towards achieving the Sustainable Development Goals (SDGs) by 2025, the state of their implementation in Bulgaria and the importance of the mining industry for sustainable development. While the world reports partial but insufficient progress, Bulgaria demonstrates solid results in social areas such as education, health and no poverty, but lags behind in innovation, sustainable production and environmental protection. The mining sector makes a significant contribution to economic growth and employment, but at the same time raises challenges related to resource efficiency and environmental damage. The study highlights the need to integrate sustainable practices, transparency and closer cooperation between the state, business and society to realize the SDGs by 2030.

KEY WORDS: SDGs, ecology, sustainable development, mining

Въведение

Целите за устойчиво развитие (ЦУР)/Sustainable Development Goals (SDGs) са цели, приети от всички държави членки на Организацията на обединените нации през 2015 г. като част от Програмата



за устойчиво развитие до 2030 г. Те представляват глобален призив за действие за прекратяване на бедността, защита на планетата и осигуряване на просперитет и мир за всички. Те се състоят от 17 взаимосвързани цели и 169 специфични подцели. [5] ЦУР предоставят всеобхватна рамка, която да насочва глобалните усилия за постигане на социално равенство, приобщаващ икономически растеж и екологична устойчивост. През последното десетилетие страните по света постигат различна степен на напредък в прилагането им, но предизвикателства като изменението на климата, неравенството и неустойчивото потребление продължават да възпрепятстват глобалния напредък. В този глобален контекст България показва стабилен, но неравномерен напредък. Тя постига значителни резултати в намаляването на бедността, равнопоставеността в образованието и достъпа до основни услуги, като същевременно все още се сблъсква със структурни предизвикателства, свързани с екологичната устойчивост, иновациите и управлението. Интегрирането на ЦУР в националните политики остава ключов приоритет, като България привежда своите стратегии за развитие в съответствие с целите на Програмата до 2030 г. В тези стратегии минният сектор играе особено важна роля, тъй като е едновременно двигател на икономическия растеж и източник на екологично и социално въздействие. Устойчивите минни практики са от съществено значение за постигането на ЦУР, като най-вече тези, свързани с чистата енергия, достойния труд, отговорното потребление и действията в областта на опазването на околната среда. В България минната индустрия допринася значително за регионалните икономики и заетост, поради което съгласуването на минните дейности с ЦУР изисква балансиране на икономическата производителност с екологичното управление, благосъстоянието на общността и дългосрочното възстановяване на екосистемите.

Основна част

В настоящата публикация са разгледани глобалните тенденции и напредъкът на света към постигането на ЦУР към 2025 г., състоянието и динамиката на изпълнението на ЦУР в Република България, както и ролята на минната индустрия като ключов фактор за реализирането на устойчиво икономическо, социално и екологично развитие в контекста на прилагането на ЦУР.

➤ **Напредък на света към постигането на ЦУР към 2025 г.**

Докладът за устойчиво развитие за 2025 г. (*Sustainable Development Report 2025*) [3] предоставя обширна оценка на глобалния напредък към Целите за устойчиво развитие на ООН, като подчертава както постиженията, така и продължаващите предизвикателства десетилетие след тяхното приемане. Въпреки нарастващата осведоменост и ангажираност на национално и международно ниво, докладът установява, че само около 35% от ЦУР са в съответствие с плана за постигането им или отбелязват умерен напредък. Като почти половината напредват твърде бавно, а близо една пета регресират, което показва, че светът остава значително извън курса за постигане на Програмата до 2030 г. Неравномерният напредък се дължи на комбинация от фактори, включително ескалация на конфликти, изменение на климата, влошаване на околната среда, нарастващо неравенство, геополитическо напрежение и нарастващите дългове, особено в развиващите се страни, които са изправени пред сериозни финансов недостиг и ограничения на ресурсите. Някои държави са постигнали забележителен напредък, като например постигане на универсален достъп до електроенергия в 45 страни, намаляване на крайната бедност и елиминиране на тропически болести в 54 страни. Но се забелязва и фрагментиране и неравномерно разпределение между регионите, което подчертава трайните неравенства между страните с високи и ниски доходи.

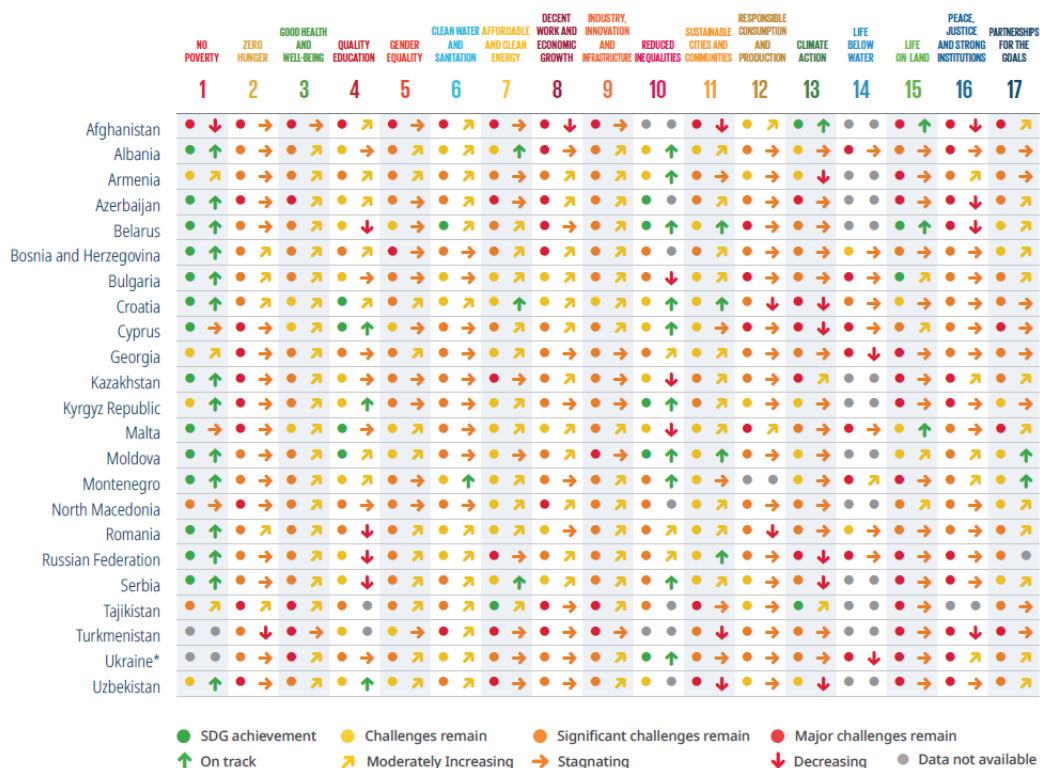
Докладът акцентира върху шест приоритетни области, изискващи спешно внимание за ускоряване на постигането на ЦУР:

- ✓ Реформиране и укрепване на хранителните системи за гарантиране на хранителна сигурност и устойчивост;
- ✓ Разширяване на достъпа до чиста и достъпна енергия;
- ✓ Насърчаване на цифровата трансформация и технологичното приобщаване;
- ✓ Подобряване на достъпа до равнопоставено и качествено образование;
- ✓ Осигуряване на приобщаваща заетост, социална закрила и възможности за достоен труд;



- ✓ Справяне с изменението на климата и загубата на биологично разнообразие.

Докладът въвежда индекса SDGi, който оценява представянето на страните по 17-те основни ЦУР (фиг. 1). По този начин се прави ясен сравнителен анализ на напредъка и идентифицирането на пропуски, като се демонстрира значението на комбинирането на качествени и количествени подходи за оценка на сложни и взаимозависими процеси. Докладът допълнително подчертава необходимостта от реформи в глобалната финансова архитектура, като е отбелязано, че засилването на международното сътрудничество и оптимизирането на разпределението на ресурсите са от решаващо значение за преодоляването на недостига във финансирането на ЦУР и за подкрепата на страни с ограничен фискален капацитет. Важно е да се отбележи, че докладът подчертава, че настоящата траектория на напредъка е крехка, като много от постиженията са уязвими за обръщане поради системни сътресения, природни бедствия, пандемии и социално-политическа нестабилност, което прави изграждането на устойчивост централна тема в дневния ред на ЦУР. Въпреки че Докладът за устойчиво развитие за 2025 г. признава, че е възможен значим напредък, той подчертава, че трансформативната промяна изисква не само корекции на политиките и технически решения, но и засилено управление, приобщаващо вземане на решения, ангажиране на заинтересованите страни и механизми за отчетност, за да се гарантира, че никой не е изоставен. В заключение докладът призовава за подновен глобален ангажимент, ускорено прилагане на стратегии, основани на доказателства, междусекторно сътрудничество и подобрени механизми за финансиране за постигане на ЦУР до 2030 г. Докладът представя ЦУР едновременно като пътна карта за устойчиво развитие и като тест за глобално сътрудничество и човешки капацитет за преодоляване на взаимосвързаните социални, икономически и екологични предизвикателства.



Фиг. 1 Сравнителен анализ на напредъка на държави от Източна Европа и Централна Азия

➤ Динамиката на изпълнението на ЦУР в Република България

Докладът за устойчиво развитие 2025: Профил на България (Sustainable Development Report 2025: Bulgaria Country Profile) [4] представя подробен преглед на напредъка на страната към постигането на ЦУР. Той подчертава значителния напредък, заедно с постоянните структурни и



екологични предизвикателства. България отчита общ резултат по индекса на ЦУР от 76.3, което е над средния за региона на Източна Европа и Централна Азия от 72.0. Това я нарежда на 41-во място в световен мащаб.

Страната демонстрира умерено подобрение в няколко области, но продължава да се сблъсква с предизвикателства по множество цели. България успешно е премахнала крайната бедност (ЦУР 1) с дял на бедните от 0.6% при 2.15 \$ на ден и 0.9% при 3.65 \$ на ден.

По ЦУР 2 (Нулев глад) страната отчита нисък процент на недохранване от 2.5% и висока селскостопанска производителност с добив на зърнени култури от 5.2 тона на хектар, въпреки че нивата на затлъстяване сред възрастните (20.6%) и неустойчивите хранителни модели остават проблем.

Здравните резултати по ЦУР 3 са сравнително силни, с ниски нива на майчина (5.6 на 100 000 раждания) и детска смъртност, висок обхват на ваксинация (92%) и смъртност под петгодишна възраст от 6.1 на 1000. Но продължителността на живота остава скромна - 75.6 години, а плодовитостта при подрастващите е висока (38.7 раждания на 1000 момичета).

Образованието (ЦУР 4) показва почти всеобщо участие в предучилищното и средното образование, като грамотността на младежите е 98%.

ЦУР 5 (Равенство между половете) отразява напредък в образователния паритет, но и продължаващи разлики между половете в политическото представителство (дял на жените 21.3% от парламентарните места) и участието на пазара на труда (процентът на жените е 80.8% от този на мъжете).

По ЦУР 6 (Чиста вода и санитария) достъпът до основна питейна вода е 99.1%, но санитарните услуги покриват само 86.1%, с високо потребление на прясна вода (40.2% от наличните ресурси).

Показателите за енергетика (ЦУР 7) показват универсален достъп до електроенергия и дял на възобновяемата енергия от 20.4%, въпреки че зависимостта от изкопаеми горива остава.

Икономиката на България (ЦУР 8) е стабилна, с ниска безработица (4%) и солиден растеж, но остават пропуски в защитата на трудовите права.

По ЦУР 9 (Индустрия, иновации и инфраструктура) България се представя добре в областта на цифровата свързаност, като 80% от гражданите използват интернет и имат почти универсален достъп до пътища в селските райони, но инвестициите в научноизследователска и развойна дейност са ниски (0.8% от БВП).

Неравенството (ЦУР 10) се запазва, с коефициент на Джини от 39 и коефициент на Палма от 1.7, докато градовете (ЦУР 11) отчитат добър достъп до обществен транспорт (91%), но страдат от повишено замърсяване на въздуха (PM2.5 при 17.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Моделите на потребление (ЦУР 12) и действията по отношение на климата (ЦУР 13) остават проблематични, тъй като България произвежда високо замърсяване и емисии на CO₂ (5.4 тона на глава от населението) и азот, което отразява недостатъчен напредък към зелен преход.

Целите за биоразнообразие са смесени - защитата на морската и сухоземната среда надхвърля 99%, но показателите за видов риск и устойчивостта на рибарството са слаби.

По ЦУР 16 (Мир, правосъдие и институции) България поддържа ниски нива на убийства и ефективен контрол на престъпността, но е изправена пред умерена корупция (ИПЦ 43) и ограничена свобода на пресата (оценка 61).

По ЦУР 17 (Партньорства) държавните разходи за здравеопазване и образование се равняват на 9.5% от БВП, а страната демонстрира висок статистически капацитет, но скромно участие в глобалния мултилатерализъм (индекс 62.4).

Като цяло, изпълнението на ЦУР на България (фиг. 2) отразява стабилен, но неравномерен напредък - силен в намаляването на бедността, здравеопазването и образованието, но изоставащ в устойчивостта, управлението и иновациите. Това показва, че макар основните системи да са стабилни, са необходими съществени реформи и целенасочени инвестиции, за да се постигне балансирано, приобщаващо и екологично устойчиво развитие до 2030 г.



Фиг. 2 Напредък на България по ЦУР

➤ Ролята на минната индустрия за реализирането на ЦУР

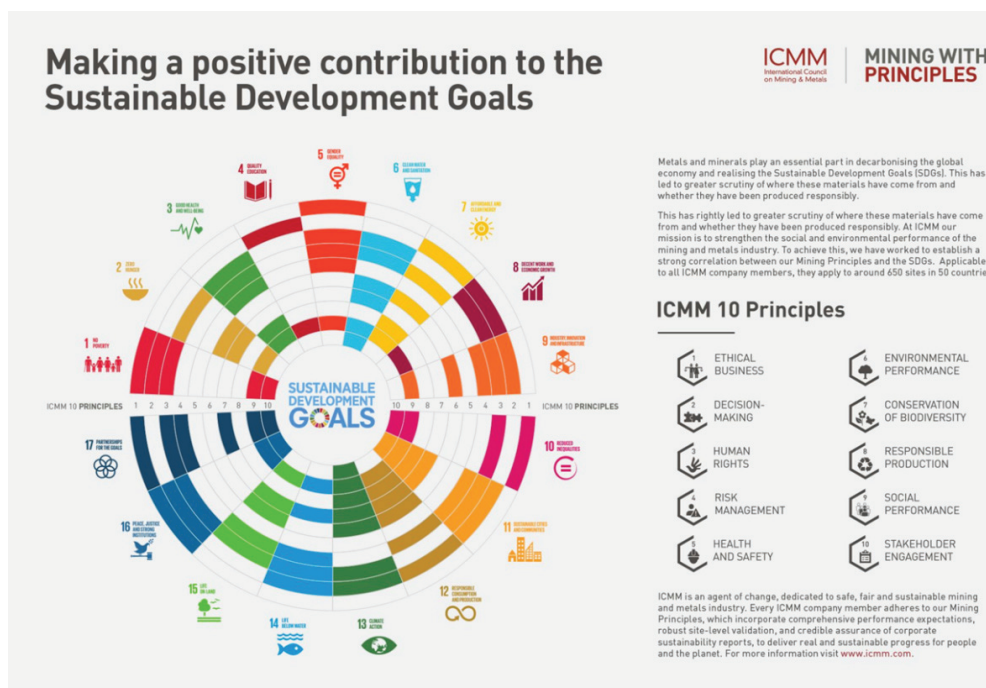
Международният съвет по минно дело и метали/ The International Council of Mining and Metals (ICMM) [1] е ангажиран с подкрепата на Целите за устойчиво развитие на Организацията на обединените нации. Той привежда дейностите си в съответствие с 10-те принципа (фиг. 3) на своята Рамка за устойчиво развитие и съпоставя тези принципи с ЦУР, за да определи къде минният и металургичният сектор може да допринесе най-ефективно.

ICMM се фокусира върху няколко ключови ЦУР:

- ✓ ЦУР 7 (Достъпна и чиста енергия) чрез насърчаване на достъпа до надеждна и устойчива енергия за всички;
- ✓ ЦУР 8 (Достоен труд и икономически растеж) чрез насърчаване на приобщаващ икономически растеж и продуктивна заетост;
- ✓ ЦУР 9 (Промисленост, иновации и инфраструктура) чрез подкрепа на устойчива инфраструктура и устойчива индустриализация;
- ✓ ЦУР 11 (Устойчиви градове и общности) чрез развитие на приобщаващи и устойчиви селища;
- ✓ ЦУР 12 (Отговорно потребление и производство) чрез насърчаване на ефективното използване на природните ресурси и намаляване на отпадъците;
- ✓ ЦУР 13 (Действия по климата) чрез застъпничество за спешна декарбонизация в съответствие с Парижкото споразумение;
- ✓ ЦУР 17 (Партньорства за Целите) чрез укрепване на глобалните партньорства за устойчиво развитие.

Чрез тези инициативи ICMM се стреми да интегрира устойчивостта в основните бизнес практики, да подобри екологичното управление, да насърчи социалната отговорност и да насърчи сътрудничеството между заинтересованите страни. По този начин се демонстрира потенциалът на минния и металургичния сектор да даде значим принос за постигането на ЦУР, като същевременно се справя както със специфичните за сектора, така и с глобалните предизвикателства, свързани с устойчивостта.

В документа „Mapping Mining to the Sustainable Development Goals: An Atlas“ [6], изготвен от Програмата на ООН за развитие през юли 2016 г., се обяснява, че при приемането на Програмата до 2030 г. и нейните 17 цели, всички сектори, включително минната индустрия, трябва да интегрират тези цели в практиката и дейността си.



Фиг. 3 Десетте принципа на Международния съвет по минно дело и метали

Тъй като минната индустрия работи в голям мащаб, често в отдалечени или недостатъчно обслужвани региони, мобилизира значителни човешки, физически, технологични и финансови ресурси. Тя има както значителен потенциал да допринесе за постигането на ЦУР, така и, ако е лошо управлявана, да ги подкопае. Следователно Атласът си поставя за цел да картографира връзката между минните дейности (от проучването през производството до закриването на мини) и всяка от 17-те ЦУР (фиг. 4), показвайки как минното дело може или да подпомогне, или да възпрепятства постигането им. Той има за цел да подобри разбирането за това как ЦУР и минното дело са свързани, да повиши осведомеността за възможностите и предизвикателствата, пред които е изправен секторът, и да стимулира диалога и партньорствата между множество заинтересовани страни.

Докладът установява, че минните компании (в зависимост от контекста на дейността си, етапа от жизнения цикъл на мината, вида на минерала и социалните, икономическите и управленските условия в приемащата страна или регион) могат да постигнат положителни резултати. Например: създаване на работни места, развитие на инфраструктурата, бизнес възможности, връзки във веригите за създаване на стойност и потоци от приходи. По този начин подкрепят цели като достоен труд, икономически растеж, промишленост, иновации и инфраструктура и могат да участват в задоволяването на основни нужди като енергия, чиста вода, отговорно потребление и производство. В същото време обаче индустрията исторически е била свързана със сериозни рискове, включително влошаване на околната среда (въздействащо върху земята, водата, биоразнообразието и климата), разселване на хора, неравенство, нарушения на човешките права, конфликти, корупция и слабо управление - рискове, които застрашават напредъка по широк спектър от ЦУР.

Атласът подчертава, че нетният принос на една минна компания се определя от това как тя вражда мисленето за ЦУР в основната си бизнес стратегия, как взаимодейства с правителствата, местните общности, гражданското общество и други заинтересовани страни и как преминава от тесен начин на мислене за смекчаване на риска „не вреди“ към проактивен начин на мислене „създавай споделена стойност“. Той приканва минните фирми да оценят местните изходни условия, да се ангажират смислено със засегнатите общности, да се придържат към националните планове за развитие, да приемат прозрачни механизми за управление и споделяне на ползите, да търсят



възможности за иновации, диверсификация и приобщаващ растеж и да си сътрудничат в традиционните силози на минното дело, общността, околната среда, развитието и финансите.



Фиг. 4 Минната дейност и обвързаността и със 17-те ЦУР

Атласът подчертава, че никоя минна компания не е еднолично отговорна за ЦУР, но че секторът, работейки в партньорство с други участници, може да се превърне в целенасочен партньор в постигането на Програмата до 2030 г. В него се твърди, че един минен проект, разглеждан просто като добив на ресурси, пропуска по-голямата картина. Вместо това минното дело трябва да бъде интегрирано в по-широката екосистема за развитие, така че да подкрепя устойчиви икономики, общества, които не изоставят никого, устойчива среда и институции, които осигуряват справедливост, приобщаване и върховенство на закона. В заключение Атласът представя минната индустрия не само като източник на суровини, но и като участник в развитието, чиито решения и операции отразяват ЦУР, и призовава компаниите, правителствата и гражданското общество да се възползват от момента, за да превърнат този потенциал в реални резултати за устойчиво развитие.

Фондацията за отговорно минно дело и Колумбийският център за устойчиви инвестиции създават доклада „Mining and the SDGs: A 2020 Status Update“ [2]. В него се признава, че Програмата до 2030 г. изисква спешни действия, заради което в него се оценяват 38 големи минни компании (представляващи приблизително 28% от световната стойност на минното дело), за да се проучи до каква степен те са интегрирали ЦУР в бизнес стратегиите си, дали и как са приоритизирали съответните Цели и дали са докладвали за напредъка (фиг. 5).

Констатациите в доклада показват някои окуражаващи признаци, компаниите все по-често споменават ЦУР в оповестяванията си, а няколко изтъкнати фирми вграждат Целите в управлението и бизнес стратегията си, но общите резултати остават слаби и неравномерни. Установява се, че много компании все още третират позоваванията на ЦУР като повърхностни упражнения за „картографиране“, вместо да ги обосноват с пълна оценка на техните положителни и отрицателни въздействия, а много малко си поставят измерими цели или отчитат както отрицателни, така и положителни резултати.



Например, докато цели като „Качествено образование“ (ЦУР 4) и „Партньорства за целите“ (ЦУР 17) показват сравнително по-силна средна ангажираност, цели с висока експозиция към рискове в минното дело, като „Добро здраве и благополучие“ (ЦУР 3), „Равенство между половете“ (ЦУР 5), „Чиста вода и санитария“ (ЦУР 6) и „Живот под водата“ (ЦУР 14) показват сред най-слабите резултати в политиката, практиката и оповестяването. Докладът също така подчертава възникващия и засилващ се натиск върху сектора: преходът към зелена енергия увеличава търсенето на минерали и едновременно с това увеличава енергийния и водния отпечатък на мините, аварията на хвостохранилищата продължават да представляват катастрофален риск, настроенията на инвеститорите и застрахователите се променят бързо, а пандемията от COVID-19 е усложнила предизвикателствата пред развитието, като всички те усилват ролята на сектора в Десетилетието на действието на ЦУР и повишават разходите за бездействието.

В заключението си докладът подчертава, че макар минната индустрия да разполага със средствата да бъде трансформиращ партньор за постигане на устойчиво развитие, данните до момента сочат, че много компании са далеч от осъзнаването на този потенциал. Спешно са необходими по-силно управление, по-дълбока интеграция на ЦУР в бизнес моделите, стриктно определяне на цели, прозрачно оповестяване (включително отрицателните въздействия), непоколебимо ангажиране на заинтересованите страни и последователно прилагане на практики в подкрепа на ЦУР в целите компании.

		Commitment			Risk management and impact mitigation			Positive action			Public disclosure			Performance tracking and reporting			Local stakeholder engagement			Mine-site data disclosure			All categories		
		Min Score (%)	AVG Score (%)	Max Score (%)	Min Score (%)	AVG Score (%)	Max Score (%)	Min Score (%)	AVG Score (%)	Max Score (%)	Min Score (%)	AVG Score (%)	Max Score (%)	Min Score (%)	AVG Score (%)	Max Score (%)	Min Score (%)	AVG Score (%)	Max Score (%)	Min Score (%)	AVG Score (%)	Max Score (%)	Min Score (%)	AVG Score (%)	Max Score (%)
1	No Poverty	0.0	6.3	50.0	0.0	27.7	75.0	6.3	26.6	75.0				0.0	1.3	16.7				0.0	8.6	29.8	2.3	17.6	54.1
2	Zero Hunger				0.0	24.8	75.0															0.0	24.8	75.0	
3	Good Health and Well-being				0.0	17.2	70.8	0.0	11.2	100.0				0.0	7.7	25.0				0.0	9.1	38.3	0.0	11.9	34.7
4	Quality Education							8.3	36.4	75.0												8.3	36.4	75.0	
5	Gender Equality				0.0	14.1	55.6	0.0	12.2	50.0				0.0	5.6	30.6	0.0	14.5	100.0				0.0	10.9	41.7
6	Clean Water and Sanitation	0.0	4.6	100.0	0.0	16.7	75.0							0.0	16.9	41.7				0.0	11.7	33.3	0.0	13.6	37.7
7	Affordable and Clean Energy													0.0	25.4	66.7							0.0	25.4	66.7
8	Decent Work and Economic Growth	25.0	89.7	100.0	0.0	15.6	50.0	0.0	34.4	83.3	0.0	45.0	83.3	0.0	5.0	16.7				0.0	8.1	44.4	4.2	25.0	48.6
9	Industry, Innovation and Infrastructure	0.0	10.7	100.0				0.0	22.8	100.0													0.0	16.8	66.7
10	Reduced Inequalities				0.0	22.8	66.7																0.0	22.8	66.7
11	Sustainable Cities and Communities	0.0	33.1	100.0	0.0	26.4	75.0																0.0	28.7	83.3
12	Responsible Consumption and Production	0.0	20.9	70.8	0.0	30.2	88.9	0.0	22.8	100.0				0.0	26.1	66.7	0.0	11.2	50.0	0.0	9.1	38.3	0.0	21.1	49.3
13	Climate Action				0.0	26.8	66.7				0.0	0.0	0.0	0.0	32.9	66.7	0.0	10.9	100.0				0.0	19.5	51.7
14	Life below Water	0.0	4.6	100.0																			0.0	4.6	100.0
15	Life on Land	12.5	46.4	100.0	0.0	40.1	100.0							0.0	21.5	62.5	0.0	11.2	50.0				4.2	31.2	77.8
16	Peace, Justice and Strong Institutions	5.6	48.0	100.0	0.0	18.0	66.7				0.0	35.0	66.7	0.0	15.0	45.8				0.0	15.1	54.2	3.8	26.4	56.0
17	Partnerships for the Goals							0.0	22.8	100.0	0.0	46.1	100.0										0.0	34.4	75.0

Фиг. 5 Политики и практики, подкрепящи ЦУР (подробни резултати за 38-те компании)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обобщавайки резултатите от изследването, може да се заключи, че постигането на Целите за устойчиво развитие до 2030 г. изисква ускорени действия на всички нива – глобално, национално и секторно. България е пример за страна с напредък в социалните измерения на ЦУР, но все още среща сериозни предизвикателства в екологичната и икономическата устойчивост. Минната индустрия се очертава като стратегически сектор, способен да допринесе значително за постигането на няколко ключови цели, при условие че бъде управлявана отговорно и прозрачно, с акцент върху екологичната



защита, иновациите и социалното включване. За да бъде реализиран пълният потенциал на ЦУР, е необходимо интегриране на устойчивото развитие в държавните политики, засилено сътрудничество между институции, бизнес и гражданско общество, както и ефективно използване на ресурсите и технологиите в полза на бъдещите поколения.

В заключение, устойчивото развитие не следва да се възприема като ограничение на индустриалния растеж, а като възможност за неговото трансформиране в по-интелигентен, ефективен и социално отговорен модел, който гарантира благосъстоянието на настоящите и бъдещите поколения.

Литература

1. International Council on Mining and Metals - Official website - <https://www.icmm.com/>
2. Responsible Mining Foundation and Columbia Center on Sustainable Investment. Mining and the SDGs: A 2020 Status Update. 2020
3. Sachs, Jeffrey D., Guillaume Lafortune, Grayson Fuller, and Guilherme Iablonovski. Sustainable Development Report 2025. Bertelsmann Stiftung and Sustainable Development Solutions Network, 2025. DOI: 10.25546/111909.
4. Sachs, Jeffrey D., Guillaume Lafortune, Grayson Fuller, and Guilherme Iablonovski. Sustainable Development Report 2025: Bulgaria Country Profile. Bertelsmann Stiftung and Sustainable Development Solutions Network, 2025. DOI: 10.25546/111909.
5. United Nations - Official website - <https://sdgs.un.org/2030agenda>
6. United Nations Development Programme. Mapping Mining to the Sustainable Development Goals: An Atlas-Executive Summary. UNDP, July 2016



КОНЦЕПЦИЯ ЗА РАЗРАБОТВАНЕ НА WEB-БАЗИРАНА СИСТЕМА ЗА КРИТИЧНИ И СТРАТЕГИЧЕСКИ СУРОВИНИ В БЪЛГАРИЯ

Милослав Кацаров¹ Румяна Вацева¹, Аглайда Тотева¹, Дейвис Динков², Антоанета Пенева¹

¹Геологически институт, Българска академия на науките, София 1113,
e-mail: mkatsarov@geology.bas.bg, rvatseva@geology.bas.bg, atoteva@geology.bas.bg,
apeneva@geology.bas.bg

²Национален институт по геофизика, геодезия и география, Българска академия на науките,
София 1113, e-mail: davis.dinkov@geophys.bas.bg

CONCEPT FOR THE DEVELOPMENT OF A WEB-BASED SYSTEM FOR CRITICAL AND STRATEGIC RAW MATERIALS IN BULGARIA

Miloslav Katsarov¹, Rumiana Vatseva¹, Aglaida Toteva¹, Davis Dinkov², Antoaneta Peneva¹

¹Geological Institute, Bulgarian Academy of Sciences, Sofia 1113, Bulgaria, e-mail:
mkatsarov@geology.bas.bg, rvatseva@geology.bas.bg, atoteva@geology.bas.bg,
apeneva@geology.bas.bg

²National Institute of Geophysics, Geodesy and Geography, Bulgarian Academy of Sciences, Sofia
1113, Bulgaria, e-mail: davis.dinkov@geophys.bas.bg

ABSTRACT

Within the framework of the National Scientific Program "Critical and Strategic Raw Materials for Green Transition and Sustainable Development" (2024–2029), a geospatial database has been designed and partially implemented in the ArcGIS 10.5 environment. The database ensures efficient integration and compact storage of diverse spatial datasets derived from national institutions, international projects, and open-access sources. Critical raw materials are represented through point, line, and polygon features, enabling advanced thematic mapping and spatial correlation analyses. The GIS-based approach contributes to a more comprehensive assessment of Bulgaria's mineral potential and supports informed decision-making for future exploration and sustainable resource management. The next step is to implement the developed file geodatabase into a database management system (DBMS).

Keywords: Critical raw materials, GIS, Bulgaria, georesources, web-based system

Увод

Създаването на единна геопространствена база данни за критични и стратегически суровини (КСС) в България представлява ключова стъпка към изграждането на национална информационна инфраструктура, съобразена с европейските инициативи за устойчиво управление на ресурсите [5, 6, 13, 14]. В рамките на Националната научна програма „Критични и стратегически суровини за зелен преход и устойчиво развитие“ (2024–2029) [16] е проектирана и частично внедрена геобаза данни в среда ArcGIS 10.5. На този етап това е локална файлова база данни, която интегрира информация за находища, проявления и индикации на критични и стратегически суровини на територията на България. Съхраняването на информация е необходимо за осигуряване на структурираност, надеждност и ефективен достъп до данните в научни, управленски и технологични системи. Базите данни позволяват централизиран контрол върху данните, минимизират излишъците и подобряват целостта и последователността на информацията [3].

Създаването на базата данни в ГИС среда осигурява събиране и управление на разнообразна пространствена информация в единна структура, което улеснява анализа и визуализацията на данните. Чрез организацията ѝ в ArcGIS 10.5 се постига компактно съхранение на голям обем различни



по формат данни. Базата данни е структурирана чрез групи данни, включващи полигонови, линейни и точкови слоеве с подробни атрибутивни таблици, позволяващи селекция по елемент, тип находище и местоположение. Подходът гарантира съвместимост със стандартите за метаданни на Европейската геоложка информационна инфраструктура (EGDI) [4].

Представената работа очертава методологията, архитектурата на базата данни и първите резултати, като акцентира върху бъдещите насоки за интеграция с национални и европейски геоинформационни системи. Следваща стъпка е внедряването на файловите данни в единна сървърна геобазата данни и разработване на WEB-базирана информационна система, изградена чрез архитектурата клиент-сървър, за работа и визуализация на геопространствени данни за критични и стратегически суровини [10, 11].

Материали и методи

Изграждането на база данни за критични и стратегически суровини в България се основава на интегрирането на различни източници от геоложка и административна информация. В процеса са използвани както първични, така и вторични данни, предоставени от национални институции, международни проекти и публично достъпни източници.

Основен източник на официални геоложки данни е Националният геоложки фонд (НГФ) към Министерството на енергетиката на Република България [17], който поддържа архив на геоложки карти, документации и регистри на находища и проявления на полезни изкопаеми.

Допълнително са използвани данни от Публичния регистър на концесиите към Министерския съвет, съдържащ информация относно предоставени, прекратени и активни концесии върху подземни богатства [2]. Тези институционални източници осигуряват нормативно обвързани и географски обосновани данни, които представляват базова рамка за последващо геоинформационно моделиране.

Допълнителни пространствени и таблични данни са извлечени от Japan International Cooperation Agency (JICA), която в предходни етапи е разработила база данни за рудни и неметални полезни изкопаеми в България. Тази информация включва координати, литоложки характеристики и основни минерали за множество обекти, разпределени в различни геоложки райони. Данните са били адаптирани за целите на настоящия проект чрез конвертиране във формат, съвместим с географски информационни системи (ГИС).

Източник на справочни данни са националните геоложки карти в мащаб 1:100 000, както и публикувани литературни сведения за геоложкия строеж, минералния потенциал и минно-геоложката характеристика на районите, в които се намират критични суровини.

Цялостната работа по структурирането на базата данни е извършена в средата на ArcGIS 10.5 (ESRI), като е създадена база данни, съдържаща пет тематични групи, структурирани както следва:

1. Concessions and Deposits – съдържа данни за концесионни площи, находища и проявления;
2. Occurrences and Indications – включва обекти с проявени минерали или индикации за КС;
3. Raw material – класифицирани по вид суровина и елементен състав (напр. W, Mn, Sb, Bi, графит и др.);
4. Administrative Units and Infrastructure – съдържа данни за общини, области и пътна мрежа;
5. Geological Background – включва фонове слоеве с геоложки и структурни граници.

На този етап обектите са дадени като полигонови и точкови слоеве, съдържащи атрибутивна таблица с параметри: име на находището, площ, суровина, съпътстващи елементи и административни данни.

Таблиците, свързани със слоевете позволяват динамична селекция и филтриране на данни по отделни признаци (суровина, елемент, община, литоложки единици и др.). Таблиците са съвместими с формати за обмен на данни (CSV, Excel, GeoPackage) и са пригодени за бъдеща интеграция в онлайн геоплатформа.

Допълнително ще се извършат проверки за топологична и атрибутивна коректност, както и тестове за съвместимост със стандартите на European Geological Data Infrastructure (EGDI). Цялата



структура на базата е създадена с възможност за разширяване и надграждане чрез включване на теренни и лабораторни данни от следващи етапи на проекта.

Архитектура на web-базирана информационна система

При разработване на WEB-базирани информационни системи поради голямото и обемно количество геопространствени данни се внедрява допълнителен сървър, наречен сървър за данни или картографски сървър. За достъп и визуализация на геопространствените данни се използва WEB ГИС приложение [8], което съдържа WEB-браузър като клиент за изпращане на необходимите заявки към сървъра с данни и WEB-сървър заедно с Web-картографираща машина за визуализиране на генерираните от него отговори (в общия случай карти, диаграми, таблици) [1, 7, 9].

Подходът, който е избран за реализация на WEB-базираната информационна система за критични и стратегически суровини в България се основава на т.н. модел „тънък клиент“ („thin client“), при който базата данни и софтуерът за опериране с нея се намират на сървърната машина. Моделът „thin client“ е приет поради допълнителните предимства, като лекота при актуализиране на данни, незначителни изисквания за ресурси от страна на клиента и т.н. [12, 15]. В модела „thin client“ всички задачи за обработка се изпълняват от страна на сървъра, докато от страна на клиента е необходим само уеб браузер за комуникация и показване (визуализация) на резултатите.

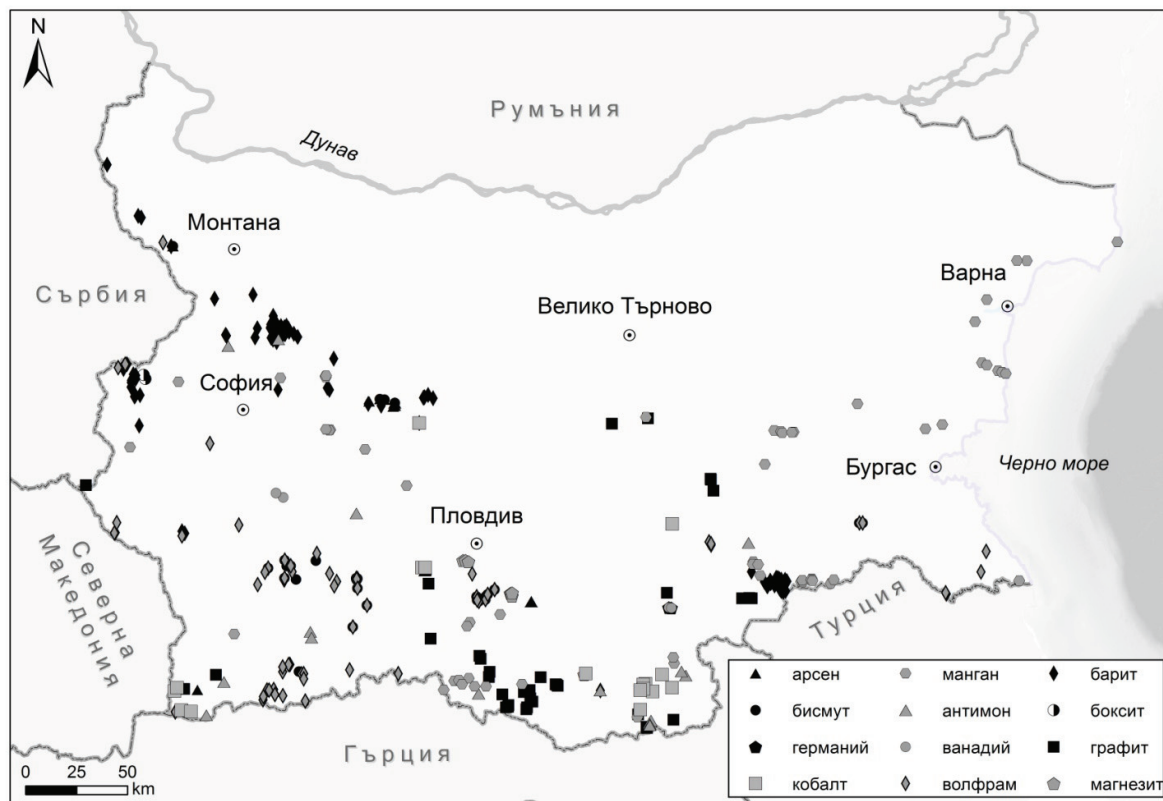
Резултати и дискусия

Разработената локална база данни представлява завършен първи етап от изграждането на национална информационна система за критични и стратегически суровини (КСС) в България. Тя съдържа пет тематични групи данни, структурирани по функционален и съдържателен принцип, като всяка от тях включва множество файлове и съответни атрибутивни таблици. В процеса на изграждане са импортирани, обработени обекти, представящи находища, проявления и индикации на минерални суровини. Тези данни са верифицирани и структурирани относно пространственото разпределение, минералния състав и административната привързаност на обектите. Следваща стъпка е внедряването на файловите данни в единна сървърна геобаза данни, чрез която да се реализира същинска информационна система за работа и визуализация на геопространствени данни за критични и стратегически суровини.

Площните обекти съдържат записи, които обхващат активни и прекратени концесионни територии, находища с доказани запаси и участъци за добив. Привързана е информация за име на находището, община, област, площ, вид суровина, източник на информация и статус на концесията. По този начин слойът изпълнява ролята на пространствен регистър на концесионните зони и осигурява основа за последваща интеграция с икономически и екологични показатели.

Точковите обекти за критични суровини са с данни за находища, проявления и индикации и включват име, координати, надморска височина, община, област, източник на данни и коментар за състоянието -активно, закрито, перспективно и др. Чрез комбинираното използване на слоевете базата позволява анализ по няколко критерии, включително филтриране по суровина, елемент или административна единица. На картата, представена на Фиг. 1, е възможно едновременно наличие на няколко критични суровини в една и съща точка. Представената информация е непълна, тъй като процесът по въвеждане на данните за критичните суровини все още е в развитие.

Тематичната обработка на данните в ГИС среда позволява създаване на тематични карти за отделни групи суровини или елементи и корелация между различни категории обекти. Това улеснява оценката на минералния потенциал на страната и планирането на бъдещи проучвания. WEB-базираната информационна система притежава инструменти за пространствено моделиране, анализи и тематични визуализации на данните и информацията за критичните суровини в България.



Фигура 1. Местоположение на критични суровини в България

Обработката, верификацията и изработката на проект за единна геобаза данни за критичните суровини представлява първия целенасочен и систематичен опит за пълна цифровизация и интеграция на националната информация за критични и стратегически суровини (КСС) в България. Нейната функция е за съхранение и анализ на геоложки данни.

От научна гледна точка базата данни осигурява систематизация на геоложката информация, като комбинира данни от разнородни източници – теренни източници, публикувани и непубликувани източници, картен материал – в цифрова среда. Посредством анализа е възможно да се разграничат групи от проявления с общи характеристики, както и да се очертаят устойчиви минерални зони.

Системата предлага възможности за анализ и оценка на добива и на екологичния риск при планиране на нови добивни дейности. Структурата на базата данни позволява допълване на нови обекти, метаданни и тематични полета и е с възможност за интегриране с други бази данни.

Постигането на съвместимост с европейските стандарти за обмен на геоложки данни [3] позволява включването на националните резултати в европейските бази данни, които обединяват информацията за критичните суровини от различни държави в единна моделна структура.

Заключение

Създаването на WEB-базирана геопространствена база данни с геоложки информационни слоеве представлява съществена крачка към изграждането на национална цифрова инфраструктура за критични и стратегически суровини (КСС) в България. Създаденият модел показва възможностите на ГИС за интегриране и структуриране на архивни и теренни данни в база, приложима за научен анализ, управленски цели и обществен достъп.



Базата данни не е само архив на наличната геоложка информация, а инструмент за пространствен анализ и моделиране, който позволява селекция, визуализация и комбиниране на данни според различни критерии. Тя подпомага европейската стратегия за зелен преход.

Като следващ етап предстои разработената файлова геобаза данни да се внедри в сървърна система за управление на база данни (СУБД), което ще позволи отдалечен достъп и работа на множество потребители с данните. Това ще допринесе за обработка и допълване на информационните слоеве с резултати от теренни, лабораторни и аналитични изследвания, извършвани от участниците в националната програма. Особен акцент ще бъде поставен върху разработването на онлайн платформа за визуализация и публичен достъп, чрез която потребителите – научни институции, държавни администрации, инвеститори и студенти – ще могат да извършват тематични справки, пространствени анализи и експертни оценки.

По този начин WEB-базираната информационна система ще представлява основен компонент на националната информационна система за минерални ресурси, обединяващ научното знание с индустриални практики. Развитието ѝ ще допринесе за подобряване на управлението на ресурсите и за оползотворяване на критичните суровини.

Благодарности

Настоящото изследване е проведено във връзка с изпълнението на Национална научна програма (ННП) „Критични и стратегически суровини за зелен преход и устойчиво развитие“, одобрена с Решение на МС № 508/18.07.2024 г и финансирана от МОН.

Литература

- [1] Barik, R.K., and A.B. Samaddar, Service oriented architecture based SDI model for mineral resources management in India. Universal Journal of Geoscience, 2014, 2(1), pp.1-6. DOI: 10.13189/ujg.2014.020101
- [2] Council of Ministers, Directorate "Strategic Development, Coordination and Concessions", Centralized Electronic Information System, National Concession Register, <https://nkr.government.bg/Concessions>
- [3] Connolly, T., and Begg, C. 2015. Database Systems: A Practical Approach to Design, Implementation, and Management. Pearson, Boston, 2015, (6th ed.)
- [4] EGD (2024). European Geological Data Infrastructure – Metadata and Data Integration Guidelines. Geological Survey of Finland (GTK). <https://www.europe-geology.eu/egdi/>
- [5] Europe's Critical Raw Materials: Balancing Strategic Needs with Environmental Protection, Intereconomics, Vol 60(5), 2025. Intereconomics
- [6] European Commission. (2023). Proposal for a Regulation on Critical Raw Materials (Critical Raw Materials Act). COM (2023)160 final, Brussels.
- [7] Mejabi, O.V. and M.D. Gimba. Development of an Interactive Web-Based Raw Materials Information System with Web 2.0 Features. Afr J. of Comp & ICTs. 2014, Vol 7, No. 4, pp 1-8.
- [8] Mwangi, E.K., S. Kimani, and A. Mindila. A review of web-based GIS usability elements. J. Inform. Technol, 2017, 4, pp.2-14.
- [9] Omidipoor, M., A. Toomanian, N. NeysaniSamany, and A. Mansourian. Knowledge discovery web service for spatial data infrastructures. ISPRS Int. J. Geo-Inf. 2021, 10(1), 12; <https://doi.org/10.3390/ijgi10010012>
- [10] Perdomo, E.G., M.T. Cardozo, C.C. Perdomo, and R.R. Serrezuela. A review of the user based web design: usability and information architecture. International Journal of Applied Engineering Research, 2017, 12(21), pp.11685-11690.
- [11] Perossa, D.; P. Rosa, S. A. Terzi. Systematic Literature Review of Existing Methods and Tools for the Criticality Assessment of Raw Materials: A Focus on the Relations between the Concepts of Criticality and Environmental Sustainability. Resources 2024, 13, 131. <https://doi.org/10.3390/resources13090131>
- [12] Stelea, G.A., M. Murrone, V. Popescu, T. Balan, V. Fernoaga. Enhanced Resource Management for Web Based Thin Clients Using Cross-Platform Progressive Offline Capabilities. In: Kliks, A., et al. Cognitive



- Radio-Oriented Wireless Networks. CrownCom 2019. Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering, vol 291. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-25748-4_27
- [13] Study on the Critical Raw Materials for the EU 2023 – Final Report. Европейска комисия, март 2023. single-market-economy.ec.europa.eu
- [14] Study on the EU's list of critical raw materials (2020). Европейска комисия, септември 2020. Publications Office of the EU
- [15] Veenendaal, B.; M.A. Brovelli, S. Li. Review of Web Mapping: Eras, Trends and Directions. ISPRS Int. J. Geo-Inf. 2017, 6, 317. <https://doi.org/10.3390/ijgi6100317>
- [16] Георгиев, С. 2024. Критични и стратегически суровини в България: контури на новата Национална научна програма. Review of the Bulgarian Geological Society, 2024, Vol 85, Issue 3, p.15-18, <https://doi.org/10.52215/rev.bgs.2024.85.3.15>
- [17] Национален геоложки фонд към Министерство на енергетиката на Република България.



ИНВЕНТАРИЗАЦИЯТА НА „МИНЕРАЛНИТЕ ОТПАДЪЦИ“ ОТ РУДОДОБИВА, ОБОГАТЯВАНЕТО И МЕТАЛУРГИЯТА НА МЕДТА - СРЕДСТВО ЗА РАЗШИРЯВАНЕ НА СУРОВИННАТА БАЗА НА Р. БЪЛГАРИЯ

Любомир С. Илчев, Надежда Г. Давчева-Илчева

РЕЗЮМЕ

Обект на статията са „минералните отпадъци“, генерирани при добива, обогатяването и металургичната преработка на медните руди и концентрати- скална маса, флотационни отпадъци и металургични шлаки. Трите дейности са между най-ресурсоемките индустрии, използващи невъзобновяеми природни ресурси. Качеството им бързо се влошава, запасите им намаляват, отпадъците им рязко се увеличават. Посочва се, че медните руди трябва да се оценяват не само като източници на мед, благородни, редки и разсеяни метали, а като ценни комплексни суровини, тъй като минералните им отпадъци представляват суровина за много индустриални отрасли- строителство, строителни материали и др. Дават се рудоносните зони в страната, химическия състав на някои флотационни отпадъци, металургични шлаки и примери за тяхното оползотворяване. Посочва се, че инвентаризацията на минералните отпадъци е важно средство за тяхното управление. Тя ще спомогне за подобряване на материалната и енергийна ефективност и разкъсване на връзката между икономическия растеж и деградацията на околната среда. Предлага се инвентаризация да се проведе в следните направления: на отпадъците от действащите рудници; отпадъци от закритите рудници; отпадъците от действащите флотации; от закритите флотации; отпадъци от действащия металургичен завод.

1. Многостранното значение на минералните отпадъци

Целта на настоящата статия е да обоснове необходимостта и ползата от инвентаризация на „минералните отпадъци“, генерирани при добива и обогатяването на медните руди и металургичната преработка на тяхните концентрати, като средство за разширяване на суровинната база. Според българския Закон за подземните богатства, тези продукти се определят като „минни отпадъци“, а съгласно Регламент (ЕО) № 2150/2002- влизат в състава на категорията „минерални отпадъци“.

Следствие добиването на все по-бедни руди, прилаганите минни, обогатителни и металургични технологии, бързото нарастване на дяла на откритият добив, количеството на минералните отпадъци се увеличава с бързи темпове. Понастоящем в Света, на всеки тон добита мед се изхвърлят 110t скални отпадъци. Само през 2000г. при средно съдържание на мед в рудата- 0,9%, са произведени 15млн.т мед, като са отделени 1648 млн.т. отпадъци (1). На всеки жител на планетата се добиват около 30t полезни изкопаеми, от които 2% се превръщат в полезна продукция, а 98% отиват в отпадъците (2). Мините - особено откритите рудници, обогатителните фабрики и металургичните заводи, оставят трайни отпечатъци върху природата в прилежащите им райони.

В документите от форумите на високо равнище на ООН и Стратегията за устойчиво развитие на ЕС се обръща изключително голямо внимание на отпадъците. Поради важното им значение като суровинен потенциал, те вече са отделени в самостоятелен икономически сектор „Управление на отпадъците“. За доброто им управление трябва да се работи както за превръщането на все по-голям дял от тях в стоков продукт, така и за въвеждане на иновационни технологии за тяхното намаляване и предотвратяване. Целта е да се премине от „отворена“ индустриална икономика, към „затворена“- „кръгова икономика“ (3) с „нулеви отпадъци“. Този съвременен подход, известен още под названието „от люлката до люлката“ (4) е насочен към интегрирани производствени системи със затворен цикъл, в които отпадъци от едно производство или индустрия, се оползотворяват като суровини за други, или се рециклират, вместо да се превръщат в замърсители. По информация на „Бюрото за международно рециклиране“, в 50 държави рециклиращата промишленост преработва над 600 млн.т отпадъци годишно, със 160 млрд. USD годишен оборот. С това се осигурява работа на повече от 1,5млн.души (5).



В световната практика все повече рудни скални отпадъци намират приложение като запълнение, в пътно строителство, изграждането на диги. Значителни количества флотационни отпадъци се използват освен за тези цели и за строителни изделия- производство на тухли, строителни панели. Разширява се приложението и на металургичните шлаки. От тях се извлича остатъчната мед, добиват се железни концентрати. Използват се като материал за циментовото производство, в пътно строителство, като абразивен материал за почистване на метални повърхности. Оползотворяването на медните минерални отпадъци води до значителни суровинни, технико-икономически, екологични и социални ползи.

2. Медните руди и минерални отпадъци в Р. България

Република България е страна с развита медна минерално-суровинна индустрия, с многовековна история. По добив на глава от населението попада в определението „минна държава“, с показател над средния в световен мащаб (6). Заема водеща позиция в европейския меден рудодобив- на трето място след Швеция и Полша.

Медните руди имат висок дял в местното материално потребление (ММП) - индикатор използван в икономиката на ЕС за отчитане на материалния поток (7). Същият се равнява на преките входящи материали (включващи местно добити и вносни), минус експортните. В България за периода 2005-2010г. и понастоящем, дялът на използваните медни руди, спрямо общото ММП, е висок и възлиза средно на 20,17%, (7)- табл. 1.

Таблица 1. Р. България -ММП включително дяла на металните руди

Местно материално потребление/години						
Години	2005	2006	2007	2008	2009	2010
ММП общо (хил.т)	126441	137841	142247	153643	122910	121077
Медни руди (хил.т)	25102	27336	26853	27223	27152	27405
Медни руди спрямо общото ММП (%)	19,85	19,83	18,88	17,72	22,09	22,63

Това потвърждава важността на тези суровини за икономиката на страната ни. Наличието в тях на благородни, редки метали и разсеяни елементи, предимно като злато, кобалт, селен, телур, талий, рений и др., значително повишава стойността им.

На територията на страната са определени четири основни медни рудоносни зони, със следните по-важни находища:

- Балканска - "Елаците", „Челопеч“ –действащи; "Плакалница", "Издремец" „Седмочисленици“, и др. - закрити;
- Средногорска, "Асарел" – действащо; „Медет“, „Елшица“ „Влайков връх“., "Цар Асен" и др. -закрити;
- Черноморска (Бургаска)- „Росен“, „Върли бряг“, „Меден рид“ -закрити;
- Странджанска (Малкотърновска)- „Граматиново“, „Бърдце“- закрити.

Повечето от посочените медни рудни находища и флотационни фабрики към тях вече са закрити. Химическия състав на някои флотационни отпадъци е посочени в табл. 2 (8)

Таблица 2. Химически състав на флотационни отпадъци от някои закрити флотационни фабрики

Флотационна фабрика	Химически състав в %									
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	Pb	Zn	Cu
Медет	64,36	16,96	3,38	2,31	3,58	2,6	4	-	-	0,04
Елшица	73,01	10,88	0,78	0,94	5,56	0,1	2,77	0,07	0,1	0,2
Върли бряг	50,82	12,35	5,95	6,74	11,63	0,8	2,8	0,01	0,05	0,06
Росен	45,00	14,3	5,6	4,56	13,41	2,1	3,9	0,03	0,02	0,065
М. Търново	39,26	8,58	8,74	2,95	15,64	0,45	0,9	0,02	0,09	0,085



По настоящем в страната работят три медни минно-обогадителни предприятия: „Елаците-Мед“ АД, „Асарел-Медет“ АД и „Челопеч майнинг“ ЕАД.

В най- голямото действащо медно минно-обогадително дружество „Елаците-Мед“ АД, с открит рудник (втори по големина в Европа след Aitik в Швеция) и флотационна фабрика, ежегодно се добива над 40млн.т минна маса (9) от които над 25 млн.т скален отпадък. Годишното количество на флотационния отпадък надвишава 12 млн.т.

Следващият по големина минно-обогадителен комплекс с открит рудник у нас- „Асарел-Медет“ АД, в резултатите от производствената си дейност за периода 1964-2004г. (10) е складира: 426773 хил. скална маса и 304486 хил.т флотационен отпадък.

„Челопеч майнинг“ ЕАД е единственото в страната минно-обогадително дружество за подземен добив на медно-златна руда и едно от най-големите златни находища в Европа. То е и най-голямата работеща европейска златна мина (11). Рудата е уникална с богатия си състав, съдържа 87 минерала. В рудника е внедрена съвременна камерна система с последващо пастово запълнение. По този начин дружеството оползотворява голяма част от собствените си отпадъци и удължава експлоатационния периода на флотационното хвостохранилище. Управлението на собствените му промишлени отпадъци отговаря на най-добрите практики в минно-обогадителната индустрия (12).

В единствения действащ медно- металургичния завод - „Аурубис България“ АД- в гр. Пирдоп годишно от флешпеща се отделят около 700 хил.т. медни шлаки, които се флотират заедно с конверторните шлаки, за извличане на остатъчната мед. За сега във флотационната фабриката се получават два продукта- меден концентрат, който се рециклира в медното производство на завода и около 640хил.т.годишно магнетито-фаялитов продукт, който се съхранява в хвостохранилище (отпадъкоохранилище). Химичния състав на същия е посочен в таблица 3. (13)

Таблица 3. Химичен състав на магнетито-фаялитовия продукт от "Аурубис България"

Компоненти	Cu	S	Fe	CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	Pb	As	Zn
Съдържание от-до, %	0.35-0.60	0.30-0.60	44-50	1-2	0.5-1.0	24-32	1.5-4.0	<1.2	<0.7	0.20-0.60	0.02-0.1	1-3

От него до 16% год. се продават на циментовите заводи в страната и Турция.

До въвеждане в експлоатация на флотационната фабрика, на площадката на акционерното дружество са складирани огромни количества отпадъчни екстропещни шлаки, добивани преди реконструкцията на завода. Химичното им съдържание е дадено в таблица 4. (14)

Таблица 4. Химичен състав на складирани отпадъчни екстропещни шлаки,на площадката на „Аурубис България“

Химически състав %													g/t	
Cu	S	Fe	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	Sb	As	Pb	Zn	Co	Mo	Ag	Au
0,50-0,55	1,5	38	37	1,7	1,3	6	0	0,06	0,07	0,05	0,08	0,15	4	0,2

Сега с тях се изграждат кристализационните полета -за охлаждане на течната шлака преди флотация. Така че, количеството им непрекъснато намалява.

Шлаките от дългогодишната дейност на закрития вече медодобивен металургичен завод на гара Елисейна, обогатени с металургични продукти по технологични причини, са със средно съдържание на мед около 4% и се продават зад граница. Отпадъкът от също закритата флотация, с високо съдържание на SiO₂- над 92%, беше използван като флюс и не е складиран.

Отпадъците от цветната металургия представляват интерес за рециклиране и оползотворяване, тъй като в много случаи са по-богати на полезни компоненти от самите природни суровини и са с постоянен минерален и химичен състав.

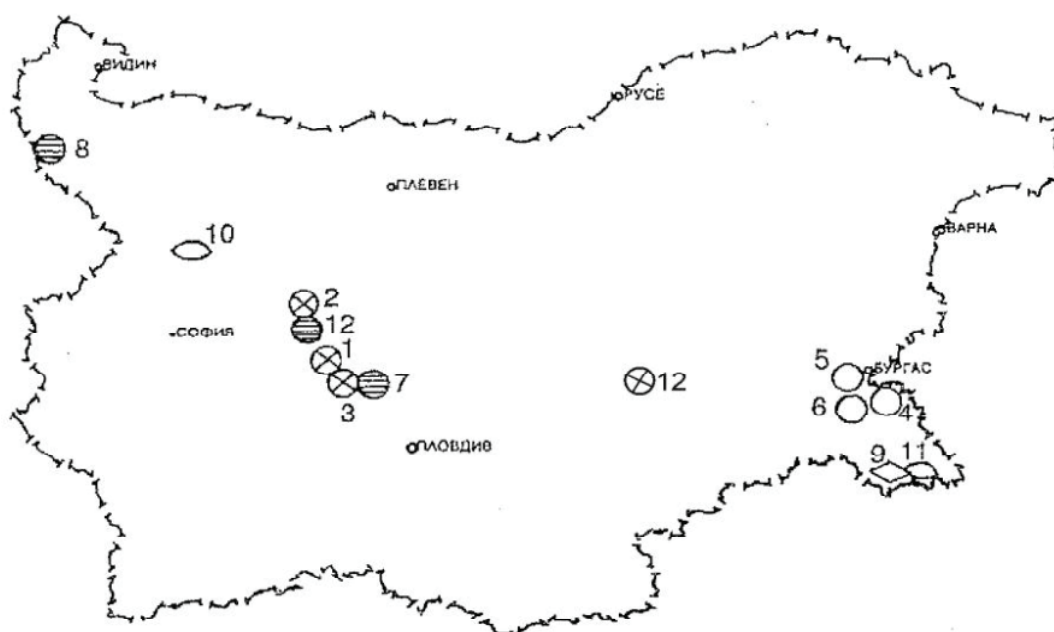
Понастоящем в Р. България, на всеки тон добита мед се изхвърлят 138,35t минерални отпадъци.



3. Инвентаризация на медните минерални отпадъци в Р. България

Добивът, обогатяването и металургията на медта, са сред производствените дейности с най-голям и непрекъснато нарастващ дял на суровинните отпадъци, поради прогресивното обедняване на медните руди. Ето защо, трите индустриални производства имат важна роля в генерирането и управлението на отпадъците. Те се депонират обикновено в близост до генериращото ги предприятие и значително увеличават екологичния натиск върху прилежащия му район.

Конвенционалният начин за депониране на минните скални отпадъци е чрез руднични табани (отвали); флотационните отпадъци се складираат в отпадъкохранилища езерен тип- т.н. хвостохранилища (в които стерилна се утаява), а металургичните шлаки- на шлаковите табани (отвали). В България има много закрити и действащи минерални отпадъкохранилища. На фигура 1 е дадено тяхното географско местоположение.



Фигура 1. Географско местоположение на медните минерални отпадъци на територията на Р.България по рудни зони : Балканска- 8, 10, 2, 12; Средногорска- 1, 3, 7; Черноморска (Бургаска)- 4, 5, 6; Странджанска (Малкотърновска)- 9, 11.

Инвентаризацията на минералните отпадъци е важно средство за тяхното управление. Тя ще допринесе за нови възможности, по-важните от които са: увеличаване и разширяване на ресурсната и суровинна база на страната; съхраняване на минералните ресурси; определяне натиска на отпадъците върху околната среда и природата и намаляване на същия; значителни социални придобивки като разкриване на нови производствени дейности, работни места, и др.

Добре провежданата инвентаризация може да допринесе значително за подобряване на материалната и енергийна ефективност и за намаляване на негативната връзката между икономическия растеж и деградацията на околната среда.

Управлението на минералните отпадъци трябва да е равностойно на това на минералните ресурси и суровини.

За да отговори на високите съвременни изисквания, инвентаризацията трябва да има своя актуална концепция и методика за осъществяване, близки до тези на геоложките проучвания. Тя трябва да обхваща териториалната, пълната количествена, и качествена характеристика на инвентаризираните минерални отпадъци. Да се определя точният им минерален и химичен състав, включително и съдържанието на определените като критични елементи (Sb, Be, Co, Ga, Mg, PGMs и т.н.). Да дава



информация за най-добрите практики, за тяхното оползотворяване, за възможностите за добиване, транспортиране, и други необходими и полезни данни.

За минералните отпадъци трябва да се води същата икономическа и статистическа отчетност, както за тяхните ресурси и суровини от които са генерирани.

Медните минералните отпадъци в страната са от различни медни рудни находища и производствени дейности -добивна, флотационна, металургична. Депонирани са в различни видове депа, при различна продължителност и климатични въздействия. Има съществени различия във веществения им състав, зърнометричната им характеристика, и др. Ето защо считаме, че обективната, точна и ползотворна инвентаризация трябва да се проведе в следните направления:

- на минерални отпадъците от действащите рудници;
- от вече закритите рудници;
- от действащите флотации (фабрики);
- от закритите флотации;
- в действащия металургичен завод -на стария шлаков отвал и минералните отпадъци на флотационната фабрика.

Придобитият опит ще се използва за провеждането на инвентаризация на минералните отпадъци от различните минерални суровини (олово, цинк, желязо и т.н.), въз основа на единен метод. Това ще обогати значително обеднялата суровинна база на страната и ще допренесе за реализиране на посочените по-горе предимства.

Литература:

1. Paial Sampat, State of the World 2003, A Worldwatch Institute Report on Progress Toward a Sustainable Society, pp 157-180, W. W. Norton & Company, New York, 2003
2. С.В. Сластунов и др, Горное дело и окружающая среда, учебник, изд.Москва „Лорос“, с.272, 2001
3. Gary Gardner, State of the World 2013, A Worldwatch Institute Report on Is Sustainability Still Possible? Pp 113-124, Island Press, Washington, DC, 2013
4. Michael Renner, State of the World 2004, A Worldwatch Institute Report on Progress Toward a Sustainable Society, pp 148-181, W. W. Norton & Company, New York, 2004
5. UN, Report of the United Nations Conference on Environment and Development: Agenda 21, Rio de Janeiro, 3-14 June, 1992
6. БМГК, Минерално-суровинната индустрия в България през 2014, Годишен бюлетин 2015г, стр.5-8, издание на Българската минно-геоложка камара, 2015
7. Eurostat, <http://ec.europa.eu/eurostat/>, 2010
8. Надежда Давчева-Илчева, Обогащане и утилизация на хвостовете от флотацията на рудите и някои отпадъчни и междинни продукти от металургията, Научен доклад, стр. 11-12, София, 1978
9. Геотехмин, Елаците-мед АД удължава живота на мината два пъти, Бюлетин на групата фирми Геотехмин, юни 2010
10. Минно-Обогатителен Комплекс „Асарел Медет“ АД, Летописна книга до 31 Декември 2004г. стр. 221, Панагюрище, 2005
11. М. Енчев, Образцов рудник, Тежка индустрия и строителство, стр.10-11, Капитал-Daily, ноември 2011
12. European Commission, Reference Document on Best Available Techniques for Management of Tailings and Waste-Rocks in Mining Activities, January, 2009
13. <http://bulgaria.aurubis.com/bg/nashijat-biznes/produkti/zhelezen-silikat-fajalit/>
14. Н.Г.Давчева Илчева, Дисертация, стр.31, Ленинградский Горный Институт, Ленинград, 1971



ПАРАДИГМАТА ЗА УСТОЙЧИВО РАЗВИТИЕ

Любомир Денчев, доктор по икономика

„Бяхме ний истински, искрени, искащи, мислещи само на глас.“
Недялко Йорданов

Въведение

Съществуват различни дефиниции за устойчиво развитие.

Ето най-приемливата, но и най-амбициозната дефиниция, която може да се намери в литературата по въпроса:

„Устойчивото развитие е постигане на баланс между социалните и екологичните принципи, като социално оправдано и екологосъобразно икономическо развитие.“

Няма да намерите обаче категорично дефиниране на цитираните социални и екологични принципи!

Обяснението за тази странна „неточност“ се крие в следните два типа противоречия:

Самото понятие „социални принципи“, изведено на равнище международна политика, не се разбира еднозначно в държавите с различни обществено-икономически формации.

За опитите Организацията на обединените нации (ООН) да преодолее този проблем ще стане дума след малко.

Понятието „екологични принципи“ в годините е „разтегнато“ във все повече детайли на различните области на екологията и използвано в доста случаи за радикален политически натиск и комерсиални цели.

Не мога да отмина без внимание и кратката и ясна дефиниция за устойчиво развитие на нашия Национален статистически институт: „Устойчивото развитие означава по-добър начин на живот за нас и за нашите деца, и внуци.“

Не е смешно! Как се случи така, че позволяваме все повече управляващите да ни третират като малоумни?

Струва си обаче да цитираме и така наречения икономически подход към идеята за устойчиво развитие, защото тя безпардонно показва къде е фокусът на идеята, а именно -капиталът!

Накратко, същността е следната: Целта е развитието на икономиката да води до устойчиво запазване на капитала!

Подчертавам това, защото трябва да е ясно, че там, където целта е печалбата на частния капитал, там не може да има нищо устойчиво за обществото.

I. Генезис на концепцията за устойчиво развитие

Ужас, Лондон ще потъне! Да спасим световния финансов център!

Да, има такава версия за появата на бял свят на идеята за проблем с глобалното затопляне.

Тя обаче отначало не се ползва с популярност поради шумния провал на „научните“ заплахи с озоновата дупка над Австралия. Озоновата дупка изчезна, страховитите сценарии за близката гибел на човечеството - също.

За да придобие световна важност и да стане приемлива за широката публика вид, обаче, някои пенсионирани политици като бившата министър-председателка на Норвегия Гру Харлем Брундтланд решават да изведат идеята до ново ниво.

И така,

През 1972 година се провежда първата конференция на ООН по околната среда в Стокхолм, Швеция, която поставя началото на идеята за устойчиво развитие, като за първи път се обсъжда необходимостта от баланс между икономика, общество и околна среда.

1987 година Комисията Брундтланд публикува доклада "Нашето общо бъдеще", който дефинира "устойчиво развитие" и се счита за ключов момент в международното приемане на концепцията.



Трябваше да минат още почти 13 години, за да се направи успешен политически опит под егидата на ООН да се разработи така наречената „Агенда 2000“.

II. Развитие на парадигмата

В дневния ред 2000 бяха формулирани и дълго съгласувани между страните-членки следните:

1. Ценности и принципи
 - Свобода;
 - Равенство;
 - Солидарност;
 - Толерантност;
 - Уважение към природата;
 - Споделена отговорност.
2. Мир, сигурност и разоръжаване
3. Развитие и ликвидиране на бедността;
4. Опазване на околната среда;
5. Човешки права, демокрация и добро управление;
6. Защита на социално уязвимите;
7. Посрещане на специалните нужди на Африка;
8. Укрепване на ООН.

Изброените ценности и принципи бяха предефинирани в цели.

Всички тези цели трябваше да са постигнати до 2015 г.

Да, ама не! Отчетът на ООН срамежливо и с изброяване на тъжни факти, но без задълбочен анализ, отчете, че постигането на целите е незадоволително в световен мащаб.

Авторите на идеята за устойчиво развитие не се отказаха.

Беше разработена нова програма 2015 – 2030 година с цялостно преформулиране на целите:

Програма 2015-2030 г. 17 цели и.....169 подцели!

Тук заедно с изброяването на 17-те цели ще направя и кратък коментар на резултатите към днешна дата по всяка от тях.

1. Изкореняване на бедността /Като в приказката „Дядо вади ряпа“, но с негативен край/
Няма почти никакви значителни позитивни сигнали в тази насока освен в Китай!

2. Край на глада / в Дубай? Да!/
Вместо това намаляване на средствата по тази програма на ООН, поради обструкции от страна на САЩ.

3. Добро здраве и благополучие /добро пожелание за Коледа./
За „постигането“ на добро здраве ни стига Ковид-кризата. Някои постигнаха обаче огромни печалби.

За благополучието можете лесно да се информирате от примера Германия. Не повишаване, а понижаване на жизнения стандарт във флага на европейската икономика.

4. Качествено образование /в смисъл на елементарна грамотност – четени и писане на компютър?/
Ежегодните доклади на редица правителствени и неправителствени организации от година на година излъчват все по-тревожни сигнали за падащото образователно равнище дори в най-развитите икономически страни на Запад.

5. Равенство между половете /да, в бордове на големите компании/
Така и не се постигна резултат в основния проблем. Мъжете и жените продължават да получават различно заплащане за равен труд.

Виж, по въпроса за броя на половете, там резултатите са невероятни!

6. Чиста вода и санитарно-хигиенни условия /за който се уреди!/
Един ясен пример за състоянието на проблема дори в една страна-членка на ЕС – България.



Това, че има проблем с водоснабдяването в редица райони на страната не е новина. И решенията са все в посоката да създадем още някоя бюрокрация!

Не знам дали сте наясно, но дори в София има места без централна канализация!

7. Достъпна и възобновяема енергия /не конюнкция, а дизюнкция ? /

Невъзможната химера! Възобновяема да, но достъпна - за някои.

В Брюксел, в богатата Европа „откриха топлата вода“ с решението, че съществува енергийна бедност!

8. Сигурна работа и икономически растеж /Да изтупаме от прахта химерата „социален мир“/

„Сигурна“ е само работата на глобалния финансов капитал. Всички други да се преквалифицират постоянно, докато не ги „освободи“ изкуствения интелект.

Икономически растеж? Китай 5 % за 2024 г., Русия 3%, САЩ 3%, Европейски съюз от минус 0,4 до плюс 1,3%. Тенденцията е към спад!

9. Промисленост, иновации и инфраструктура /какво за тях?/

В САЩ и особено в Европейския съюз думата „промишленост“ се чува все по-рядко.

Инфраструктурата се нуждае не само от развитие, но и от поддръжка, което не става само с печатане на пари. И ако все още някак се получава, то перспективата не е успокояваща.

Да, иновациите в развития Запад, особено в САЩ са все още водещи в много направления, но приоритет е секторът на въоръжаването, което действа неустойчиво върху всички останали.

10. Намаляване на неравенствата /Сменете „Джини“/

Коефициентът на Джини, или индексът на Джини, се използва за статистическа характеристика на разпределението на богатата в едно общество, т.е. на разликата (паричната) между благосъстоянието на бедните и богатите в едно общество. Накратко, показва степен на неравенство.

Тъй като стойностите му показват все по-голямо неравенство в повечето страни в света, предлагам използването му да се забрани!

11. Устойчиви градове и общности /на какво ?/

Много бих искал да намеря примери на такива, но уви!

12. Отговорно потребление и производство /не беше ли обратното?/

Само словоредът тук може да ни даде ясна представа за нивото на авторите на тази цел.

Налаганият западен модел на потребление може да се илюстрира най-добре с безумието на търговските „черни петъци“. Отговорни са май само доставчиците.

Има ли понятие „духовно потребление“?

14. Живот под водата /какво изобщо знаем за него?/

Не знам дали е направило някому впечатление, но морските проучвания непрекъснато откриват нови форми на живот, обаче това не пречи да се твърди, че работим устойчиво по въпроса.

15. Живот на земята / все пак не е на последно място! Всъщност чий живот?/

Радикалните „зелени“ усилено ни убеждават, че природата, първо живата, а напоследък и неживата, са по-важни от човека.

Понятието „качество на живота“ на човека в най-добрия случай е заменено на политическо ниво с понятието „стандарт на живот“, т.е. пак с лице към потреблението.

16. Мир, справедливост и силни институции

А реалността и сега е PAX Americana, справедливост за Юпитер, но не за бика,, силни само силовите институции.

17. Партньорства за целите

Събраха се, разбраха се, после всеки продължи според собствените си интереси.

Обаче пък „ВИП“ събития – богат календар.

13. Борба с климатичните промени /13 фаталното число/

„Каква я мислехме, каква стана?!“

Изглеждащият на пръв поглед добър замисъл в ООН след около пет години, когато програмата вероятно официално ще завърши, ще бъде забравен бързо и евентуално ще „роди“ отново нещо



„устойчиво“, което да оправдае съществуващата администрация и да даде възможност за устойчивото ѝ увеличаване.

Ако го има ООН в сегашния му вид!

Не е случайно, че оставих тринадесетата цел за накрая.

От всички изброени цели (разглеждането на онези 169 подцели не заслужават внимание, освен по въпроса за разходите за отчитането им) цел номер 13 е гордостта на авторите на идеята за устойчиво развитие.

Да заложим на 13. Тук може да се изкарат по-лесни печалби!

И пада голяма борба за.....пари!

Парижкото споразумение за климата от 2015 г. е отчетено като първа голяма победа с климатичните промени.

„За първи път през 2015 г. правителствата съвместно се споразумяха за предприемането на голямо колективно усилие за ограничаване на глобалното затопляне и справяне с последиците от него.“

Само че подписите не означаваха изпълнение! Процедурно се изискваше ратификация от парламентите на всяка от страните. И досега не всички са налице. Девет от страните, нератифицирали споразумението, заедно със САЩ, която оттегли подписа си притежават почти една четвърт от световните запаси на изкопаеми горива.

И още нещо. Държавите с амбиция за по-бързо икономическо развитие като например Китай и Турция са ратифицирали споразумението, но го изпълняват по начин, по който това да не пречи на интересите им. В резултат на което продължават да разкриват и нови енергийни мощности, основани на изкопаеми горива.

Някои от най-шумните международни неправителствени организации също бързо преориентираха дейността си в съответствие с „потока на парите“.

Да си спомним началото на антиядреният Грийнпийс от 1970 г. и новата цел - срещу „глобалното затопляне“ днес!

III. „Правоверната Европа“

Трудно обясним от гледна точка на икономическата логика изглежда отговорът на въпроса защо ръководителите на европейските комисии след 2004 година започнаха този самоубийствен поход „към борба с климатичните промени“.

И досега в Брюксел категорично отказват да изработят и публикуват системен анализ на резултатите от тази политика по страни и за съюза като цяло!

1. Политиките на ЕС по устойчиво развитие

Енергийните директивите от периода 2005-2007 година бяха прокламирани като борба срещу енергийните монополи, а се превърнаха в борба срещу руските доставки на природен газ и петрол за ЕС.

Военният конфликт в Украйна само ескалира тази политика, но не я предизвика.

„Връх“ на безумието на последните европейски комисии е така наречената „Зелена сделка“, развитието на която има ефекта на питона и особено спрямо икономиките на страните от Югоизточна Европа.

Резултатите към 2025 година са формулирани пределно ясно в доклада на бившия управител на Европейската централна банка Жан-Клод Трише. И те не са просто тревожни. Необходима е коренна политическа промяна, за да оцелее европейската икономика!

Живеем в новата ескалация на политиката за борба с „емисиите“. Искате ли да знаете докъде ще стигне? До индивидуален данък „въглероден отпечатък.“ Звучи невероятно? Само не правете нищо и ще дочакате!

На дневен ред идва и „устойчивото“ въоръжаване.



Заклучение

За кучето и бълхите.

Спорили бълхите на кого принадлежи кучето, в чиято козина са се настанили.

На това прилича „борбата с климатичните промени“.

Един пример от тази година: Космическата агенция на САЩ прогнозира, че атмосферата на Земята ще загуби способността си да поддържа живот. Кислородът ще свърши! Само че прогнозата е за след един милиард години, плюс минус 140 милиона!

Малко граматика за напреднали – за членуването, членовете и отговорността

Две думи за българските управляващи политици:

В последно време в говоренето на политиците започна нова мода. Вместо „в пленарната зала“ се казва „в зала“, вместо „в парламентарната комисия по..“ се казва „на комисия“. Къде? Някъде, неопределено, без особено значение. Не е случайно. Така се бяга от отговорност! Членуването в българската реч, когато не е за подлога в изречението, показва особена важност на съответната дума или израз.

Добре е да знаем и да помним: Резултатите на радикални политики, основани на идеологеми, а не на законите на развитието на природата и обществото се плащат от всички нас!

Да завършим оптимистично!

Инвестициите в науката са важни за обществения прогрес!

Резултатите могат и трябва да бъдат използвани разумно в ръцете на политиците.

Ако не могат - ще намерим други!



ГЕОХИМИЧНИ И МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧНИ ИНДИКАТОРИ В ПРОУЧВАНЕТО НА НАХОДИЩА НА КРИТИЧНИ И СТРАТЕГИЧЕСКИ СУРОВИНИ В БЪЛГАРИЯ: РАЗВИТИЕ НА МЕТОДИКИ И ПРИЛОЖЕНИЯ

Ирена Пейчева¹, Атанас Хиков¹, Радослав Калчев¹, Стоян Георгиев¹, Елица Стефанова¹,
Анастасия Стоянова^{1,2}, Мариана Трифонова², Десислав Иванов³

¹ Геологически институт, Българска академия на науките, ipeytcheva@geology.bas.bg

² Дънди Прешъс Металс – Челочеч

³ Асарел-Медет АД

GEOCHEMICAL AND MINERAL-GEOCHEMICAL INDICATORS IN THE STUDY OF DEPOSITS OF CRITICAL AND STRATEGIC RAW MATERIALS IN BULGARIA: DEVELOPMENT OF METHODS AND APPLICATIONS

Irena Peytcheva¹, Atanas Hikov¹, Radoslav Kalchev¹, Stoyan Georgiev¹, Elitsa Stefanova¹, Anastasya
Stoyanova^{1,2}, Mariana Trifonova², Desislav Ivanov³

¹ Geological Institute, Bulgarian Academy of Sciences, ipeytcheva@geology.bas.bg

² Dundee Precious Metals Chelopech

³ Assarel Medet AD

ABSTRACT

The demand of critical and strategic raw materials (CSRMs) for high-tech European products defines the increased interest on innovative technologies for their effective exploration, extraction and processing. This study presents data on the possible use of geochemical indicators in rocks and minerals to optimize the methods of geological exploration of CSRMs. Characteristic tendencies in the concentration of major elements in zones of hydrothermal alteration are validated. Conclusions are drawn about the potential of hydrothermal rutiles as a complex raw material for CSRM such as Ti, Nb, Ta, V, W. The study of rare earth elements and yttrium in zircons from hydrothermal alteration zones reveal their mobility in advanced and even moderate argillic alteration zones.

Увод

Развитието на европейската икономика и стремежът да се запази нейната водеща роля в производството на високотехнологични продукти са силно зависими от минерални суровини. През периода 2010-2025 г, 34 от тях бяха определени от Европейския съюз като критични, а 17 и като стратегически суровини (Grohol and Veeh, 2023). Значението на критичните и стратегически суровини (КСС) нарасна силно поради използването им в комуникациите (напр. мобилните телефони), военната индустрия и отбраната, електрониката, здравеопазването, авиацията и космическите изследвания (SCREEN, Factsheets Updates 2023). Минералните ресурси са източник на метали като Li, Co, Ni, Mn, V, Al, Cu, Ag, In, Se, Te, Zn, Pb, Nd и графит, които се използват в производство на батерии, слънчеви панели и паркове, ветрогенератори (Herrington, 2021; World Bank Report in 2020) и могат да се определят като енергийни суровини.

Целите за налагане на зелените технологии и нуждата от минерални ресурси в Европа наложиха нови законодателни инициативи за подsigуряване на гарантирано количество собствен добив, преработка и рециклиране на редица критични суровини, напр. Регламент (ЕС) 2024/1252 на Европейския парламент и на Съвета от 11 април 2024 година за създаване на рамка за гарантиране на сигурни и устойчиви доставки на суровини от критично значение ([Регламент - ЕС - 2024/1252 - EN -](#)



EUR-Lex). За България е особено важно да преосмисли политиката си за осигуряване на КСС и като отговор на нарастващата нужда от тях в страната и Европа през м. ноември, 2024 г. стартира Националната научна програма (ННП) „Критични и стратегически суровини за зелен преход и устойчиво развитие“, подготвена и подкрепена от 14 национални научни и културни институции и финансирана от Министерството на образованието и науката чрез споразумение № Д01-206/08.11.2024 г. (Пейчева и Георгиев, 2024). За да се подпомогнат обществото и икономиката на България през м. май, 2024 година в Геологическия институт при БАН и с участието на изследователи от НИГГГ-БАН стартира и друг значим научно-изследователски и научно-приложен проект с акроним REXPro: Устойчиво и ефективно проучване, добив и преработка на критични и стратегически суровини в медно-златни и полиметални находища в България: от рудата до хвостохранилището ([https://www.geology.bas.bg/en/projects-116/show-125\(20\)](https://www.geology.bas.bg/en/projects-116/show-125(20))), финансиран от Следващо Поколение ЕС (NextGenerationEU) по Плана за Възстановяване и Устойчивост, договор № ПБУ-11 от 27.05.2024 г. (BG-RRP-2.011-0040-C01/02). Той е фокусиран върху развитието и приложението на интелигентни методи и технологии за проучване, устойчив и възстановяващ добив и ефективна преработка на първични руди в три основни генетични типа действащи находища в България (Асарел, Челопеч и Лъки). Някои от тези технологии използват широко геохимични и минералого-геохимични методи за повишаване на ефективността от геолого-проучвателните дейности, които представяме накратко в настоящата работа с резултати от тяхното прилагане. Те са насочени към медно-порфирните системи, включително епитермалните им части и представят примери от находищата Асарел и Челопеч.

Геохимичните и минералого-геохимичните изследвания като интелигентен и ефективен метод в проучването на медно-порфирни системи

Медно-порфирните магматично-хидротермални системи се образуват около многофазни плиткискокове и дайкоподобни интрузии чрез отлагане на рудни минерали от хидротермални флуиди, свързани с отдолулежащи корови резервоари със смесени средни до кисели по състав магми (Richards, 2003; Seedorff et al., 2005; Sillitoe, 2010). Те могат също да съдържат скарнова, карбонат-заместваща и епитермална минерализация (Sillitoe, 2010; Hedenquist and Arribas, 2017). След отлагането на хипогенните минерали, блокът с порфирното находище може да бъде тектонски издигнат и разкрит, а в последствие изветрял и окислен от подземните води, задействайки процеси на „супергенна“ промяна и евентуално обогатяване с метал (Sillitoe, 2005, 2010).

Стремешът на редица изследователи на порфирни системи (Proffett, 2009; Richards, 2003; Seedorff et al., 2005; Sillitoe, 2010; Halley et al., 2015 и др.) е да се направи обобщен модел, показващ вертикалното и латерално разпределение на различните видове находища и техните взаимоотношения, както и зоналното разпределение на хидротермалните изменения и минерализацията. Модел, който да отговаря максимално на установените закономерности в най-големите и по-малки добре проучени находища в света, а с това да се подпомогнат продължаващите проучвателни дейности в неизучени и частично изследвани територии. Срещат се естествено и усложнения в разпространението на променителните зони и рудата, които могат да се дължат на налагането на последващи хидротермални събития, свързани както с многократното „съживяване“ на системата, така и с естественото телескопиране на медно-порфирните находища, при което плитките/приповърхностни минерализации и промени се налагат върху по-дълбоките. Разширяването на познанията за медно-порфирните системи и развитието на аналитичните техники доведоха до все по-масово използване на геохимията на микроелементите в проучването (напр. Sillitoe, 2010; Halley et al., 2015; Wilkinson et al., 2015). Различните зони на хидротермална промяна и орудяване се характеризират с различни съдържания на специфични халкофилни и литофилни елементи, което позволява тяхното използване като вектори за разпространението на магматично-хидротермалната система. Тези закономерности са особено полезни при неразкрити находища, когато по съдържанията на метали като Mo, W, Se, Te, Bi, As и Sb в минерали и скали може да се съди за мястото им в системата. Принос в тази посока са работите на Hikov (2013) и Хиков (2014) за характерно високи Sr/Rb отношения в зоните на интензивна аргилизация.

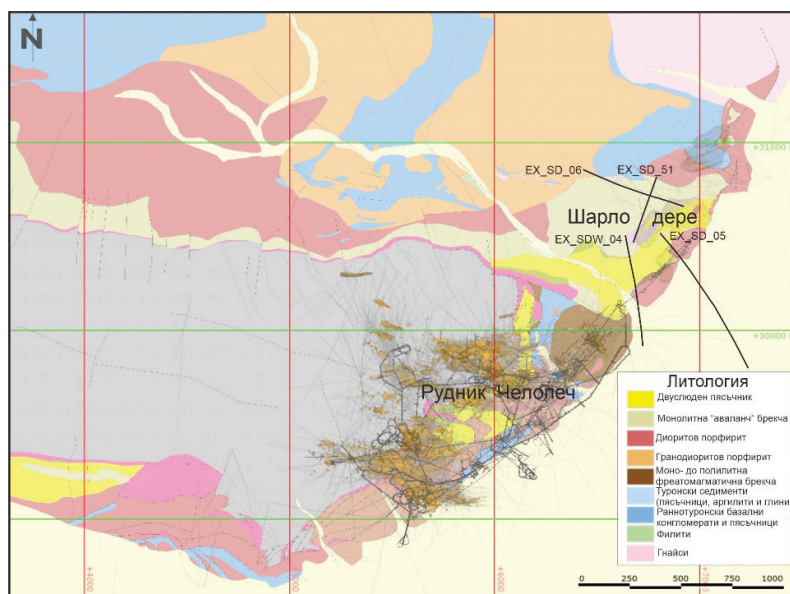


Като вектор за наличието и положението на орудяването в системата ефективно се използва и геохимията на хидротермални минерали. Приложението на този иновативен метод се базира на комбинираното използване на електронно-микросондови и LA-ICP-MS анализи за установяване на макро- и микроелементи в минералите. Развитието му е свързано с минерали от външните зони на порфирните системи (т. н. „зелени скали“ на пропилитовата зона), като хлорит, епидот, рутил и др. в които съдържанията на микроелементи (напр. Sr, Ti и др.) насочват към близост до рудното тяло (Wilkinson et al., 2015). Значителен напредък има в използването и на микрохимията на магнетит, серицит, пирит, плагиоклаз като вектори в рудни находища. Всички тези на пръв поглед строго научни изследвания се превръщат в ефективно и относително евтино (сравнено със сондирането) средство при търсенето и проучването на находища.

В REXPro се провеждат качествени и количествени анализи както на валови скални проби, така и на магматични и хидротермални (рудни и променителни) минерали (рентгено-флуоресцентни, електронно-микросондови и LA-ICP-MS) с определяне на над 50 елемента, включително редкоземни елементи (PЗЕ/REE), които са с най-висок риск на доставките. Изследванията целят тестване на вече изведени закономерности от други находища в света, за да се оцени тяхната обща валидност, както и извеждане на нови индикативни геохимични характеристики и тяхното валидиране. Въпреки интензивната работа на редица екипи по света върху минерални и геохимични индикатори, остават редица неизяснени въпроси, особено свързани с поведението на PЗЕ/REE и основните им минерали носители в магмено-хидротермални системи – акцесорните минерали циркон, титанит, рутил, апатит, аланит и др. Особено ценна е възможността за обвързване на резултатите към определени времеви интервали, тъй като тези минерали са и геохронометри и могат да се датират с наличната в ГИ-БАН LA-ICP-MS техника.

Материали и методика

В настоящото изследване са използвани средни и късови проби от сондажи в две находища – медно-порфирно находище (МПН) Асарел и Cu-Au епитермално находище Чelopeч, проучвателен участък Шарло дере (Фиг. 1). И двете находища са част от Панагюрския руден район, разположен в зоната Централно Средногорие, България, която е част от къснокреден магматичен и металогеен пояс Апусени-Банат-Тимок-Средногорие (ABTS) (Popov et al., 2000; Попов и др., 2012; Gallhofer et al., 2015).



Фигура 1. Геоложка карта на находище Чelopeч и участък Шарло дере и местоположение на опробвани проучвателни сондажи (Източник: Дънди Прешъс Металс Чelopeч).



Участък Шарло дере е разположен североизточно от рудник Челопеч и се характеризира с високосулфидна Cu-Au минерализация (Marton et al., 2016). За изследванията са подбрани представителни проби от зони с различна интензивност на наложената хидротермална промяна и с различно орудяване, както и с ясни минерални и проследими възрастови взаимоотношения.

Микроскопските изследвания на минералните асоциации и взаимоотношения са извършени в полирани образци с поляризационен микроскоп Leica DM750P в Геологически институт на Българска академия на науките (ГИ-БАН). За разкриването на вътрешния строеж (напр. осцилаторна зоналност) на акцесорните циркони са приложени катодо-луминесцентни изследвания с помощта на оптична катодолуминесцентна система Cathodyne (NewTec Scientific, France) в същия институт.

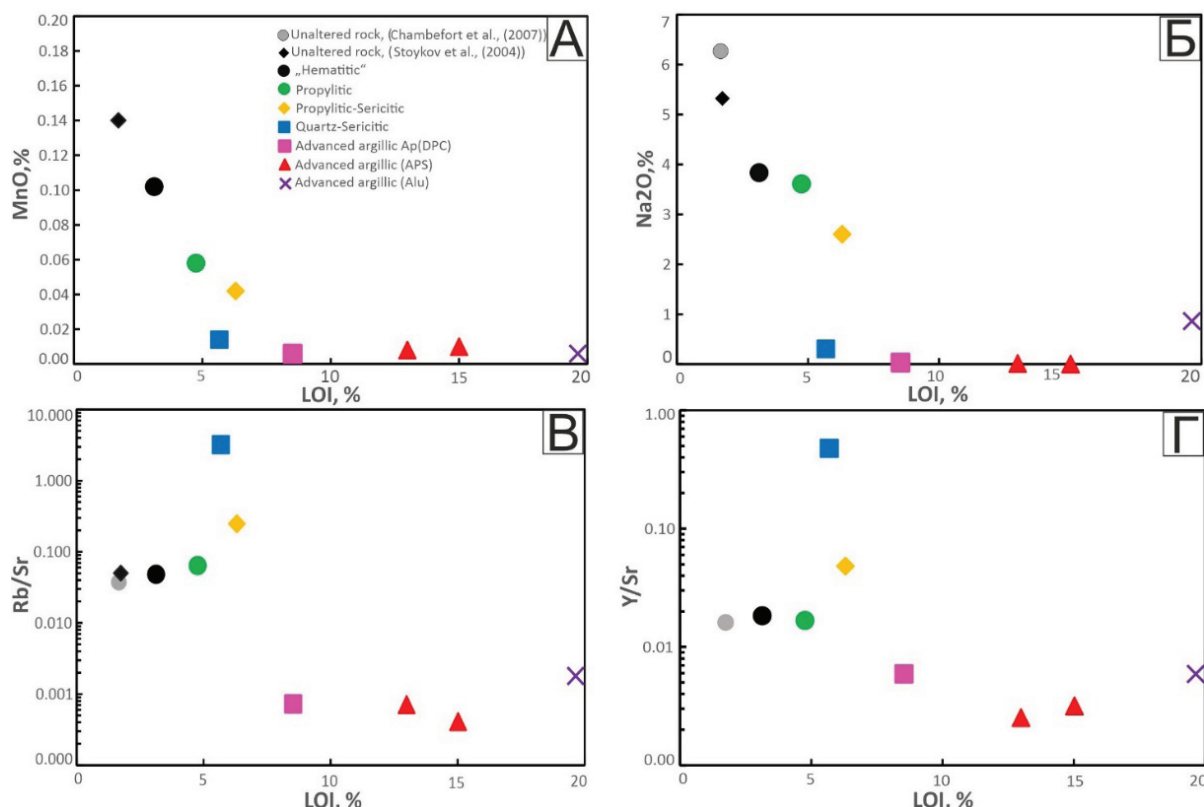
Съдържанията на главни елементи в скалните проби са определени с рентгенофлуоресцентен (XRF) метод в Химическата лаборатория към Геолого-географския факултет на Софийски университет "Св. Климент Охридски" с използване на стопилка с $\text{LiBO}_2/\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ и EDXRF Epsilon 3XLE, Omnia 3SW оборудване. Сканиращ електронен микроскоп с енергийно-дисперсионна рентгенова спектроскопия (SEM-EDS) и електронно-сондов микроанализ с вълново-дисперсионна спектроскопия (EPMA/SEM-WDS), съответно в Университета в Белград, Сърбия и Словашката академия на науките, Банска Бистрица, Словакия, са използвани за определяне на главните елементи в минералите.

Елементите следи в скалните проби и в минералите са измерени чрез LA-ICP-MS (Laser Ablation Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry) в ГИ-БАН. Системата включва New Wave Research 193 nm Excimer UP-193FX лазерна система и Perkin-Elmer ELAN DRC-e ICP-MS (Inductively coupled plasma mass spectrometry – масспектрометър с индуктивно свързана плазма). За изчисляване на концентрациите на отделните елементи в изследваните материали е използван външен стандарта NIST SRM 610, а за вътрешен стандарт - съдържанието на подбран главен елемент, определено с XRF или EPMA/SEM-EDS, или от стехиометрията за съответния минерал (напр. 15.2% Si в цирконе). За обработка на резултатите е приложен софтуерът SILLS ver. 1.1.0 (Guillong et al., 2008).

Резултати и дискусия

Геохимични характеристики на скални проби от зони с хидротермални изменения

Представените нови данни са за геохимията на скали (диоритови порфири) от зони на хидротермална промяна (слаба „хематитова“, пропилитова, пропилит-серицитова, кварц-серицитова и интензивно аргилизитова (AAA) с алунит, с алумино-фосфатно-сулфатни (APS) минерали или със запазен апатит) в проучвателен участък Шарло дере на Cu-Au епитермално находище Челопеч. В поведението на главните оксиди най-характерни са промените в съдържанията на MnO (Фиг. 2 А), Na_2O (Фиг. 2 Б), MgO, и CaO, които от „хематитовата“ към интензивно аргилизитовата зона постепенно намаляват до почти пълно изчерпване. Съдържанията на елементите-следи зависят от устойчивите минерални парагенези в различните зони. С увеличаване на индекса на хидротермална промяна AAAI (Williams and Davidson, 2004) се установява силно обогатяване на SiO_2 и разрушаване на фелдшпат, карбонати и хлорит в изследваните проби. В зоната на интензивна аргилизация съдържанията на елементите-следи зависят силно от преобладаващата фаза. Редкоземните елементи са най-обеднени в хидротермално променените скали с алунит, като съдържанията са близки до тези с APS фази. Най-слабо е обедняването им в интензивно-аргилизитовите скали с апатит. Въпреки обедняването на CaO и Na_2O , в интензивно аргилизираните скали нараства съдържанието на стронций (Sr) поради устойчивост на стронций-съдържащи минерали като сванбергит и смесени сванбергит-вудхаузеитови фази, както отбелязват Hikov (2004) и Georgieva and Hikov (2016). Потвърждава се изведеното от Hikov (2013) характерно нарастване на отношението Sr/Rb (съответно намаляване на Rb/Sr отношение) в зоните на интензивна аргилизация. Въпреки наблюдаваните минераложки различия, Rb/Sr отношение остава ниско във всички AAA скали в сравнение с по-слабо променените и особено в сравнение с кварц-серицитовите скали, в които Rb/Sr отношение е много високо (Фиг.2 В). Друг важен параметър отразяващ интензитета на промяна е Y/Sr отношение (Фиг.2 Г), което показва сходни тенденции с Rb/Sr отношение, потвърждавайки високото съдържание на Sr в зоните на интензивна аргилизация.



Фигура 2. Съдържания на главни елементи (оксиди) и елементи-следи и техни отношения в зони с различна интензивност на хидротермална промяна (оценена по съдържанието на загуби при налягане LOI) в участък Шарло дере на находище Челопеч. А) Диаграма LOI към MnO; Б) Диаграма LOI към Na₂O; В) Диаграма LOI към Rb/Sr; Г) Диаграма LOI към Y/Sr.

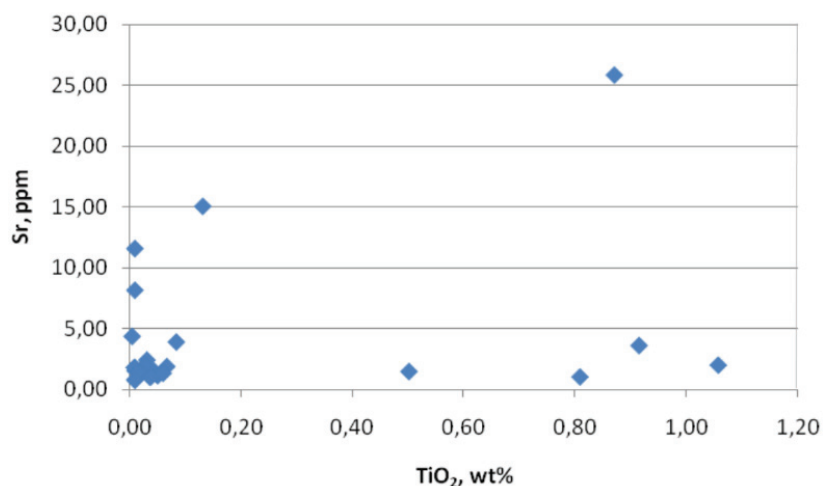
В предварителното геоложко проучване се използват различни отношения за оценка на окислителния потенциал на магмата (напр. отношението V/Sc), както и на адакитоподобни характеристики (съдържание на Y ≤ 18, отношенията Sr/Y и La/Yb над 40 и 20, съответно), които отразяват фракционирането на амфибол при едновременно потискане на фракционирането на плагиоклаза във водонаситени и потенциално рудоносни магми (напр. Defant and Drummond, 1990; Richards, 2011). С напредването на интензивността на хидротермална промяна съдържанията на Y и La в анализирани скали от участък Шарло дере намалява, особено ясно в зоните на интензивна аргилизация, паралелно с нарастването на Sr съдържание. По тази причина силно хидротермално променени скали би трябвало да се избягват за оценка на рудоносност на магмата по тези отношения, за да не се компрометира коректната интерпретация на данните. Този извод е валиден и за V/Sc отношение, което също се променя, макар и по-незначително. В по-слабо променените зони стойността на отношението V/Sc варира от 12 до 14, докато в интензивно аргилизовите зони нараства до 18.

Геохимични характеристики на променителни минерали

В централния участък на медно-порфирното находище Асарел са наблюдавани четири основни типа изменения – пропилитов, серицитов, умерено аргилизитов и интензивно аргилизитов (Strashimirov et al., 2002). Реалните геоложките процеси в находището са довели до една по-сложна картина, като наблюдаваните промени често имат смесени характеристики. Затова могат да се отделят и междинни типове хидротермални изменения – пропилит-серицитов, серицит-аргилизитов, серицит-интензивно аргилизитов, а също така и парагонитов (Попов и др., 2012; Ников, 2013). За да проверят изведените от Wilkinson et al. (2015, 2020) вектори за разпространението на магматично-хидротермалната система,

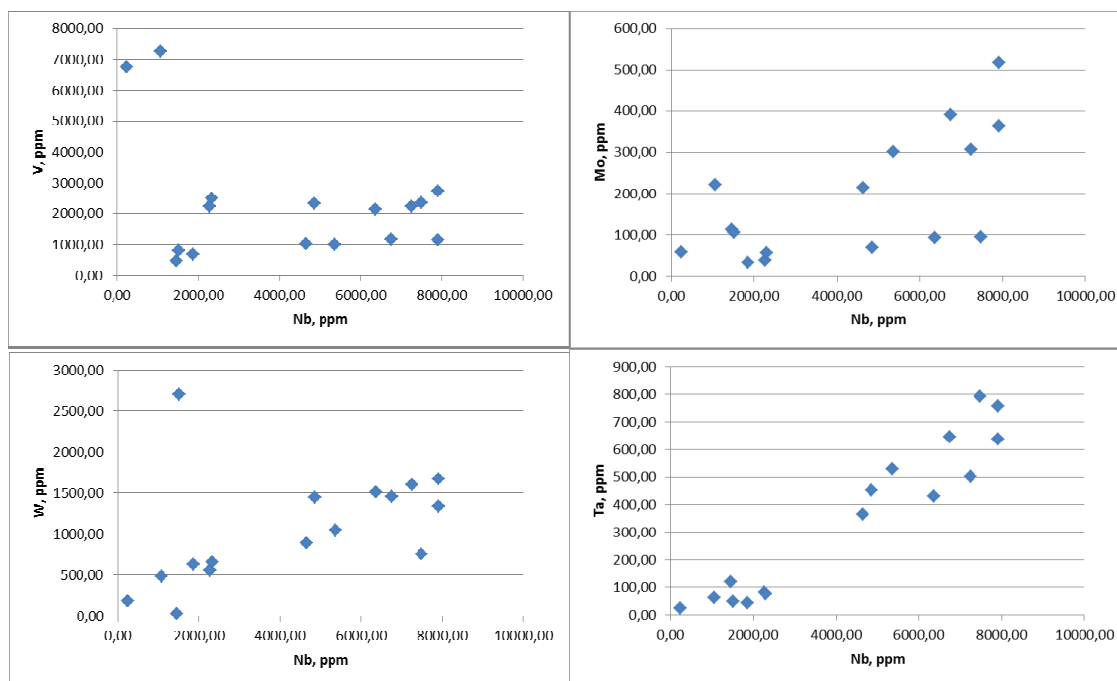


носочващи към централната част на рудното тяло са изследвани хидротермални хлорити от пропиловата и пропилит-серицитовата зона. Макар и да не е направено систематично опробване, получените данни за състава на хлоритите са съпоставими с данните от други находища около центъра на порфирната система. Индикативните елементи-примеси титан и стронций (Wilkinson et al., 2015) са със средни стойности съответно Ti – 1140 ppm и Sr – 3,51 ppm. Тези елементи имат слаба положителна корелация от 0,32. Диаграмата TiO_2/Sr показва групиране на по-голяма част от стойностите, както и отклонение на част от тях в две посоки, което може да отразява влиянието на различни геоложки процеси. С отдалечаване от центъра на системата се очаква намаляване съдържанията на титана и увеличаване тези на стронция Wilkinson et al. (2015). Сегашните изследвания показват, че използването на лазерната аблация за прецизно изследване на състава на хлоритите и по-нататъшно прогнозиране могат успешно да се прилагат и у нас.



Фиг. 3. Диаграма TiO_2/Sr за хлорити от находище Асарел.

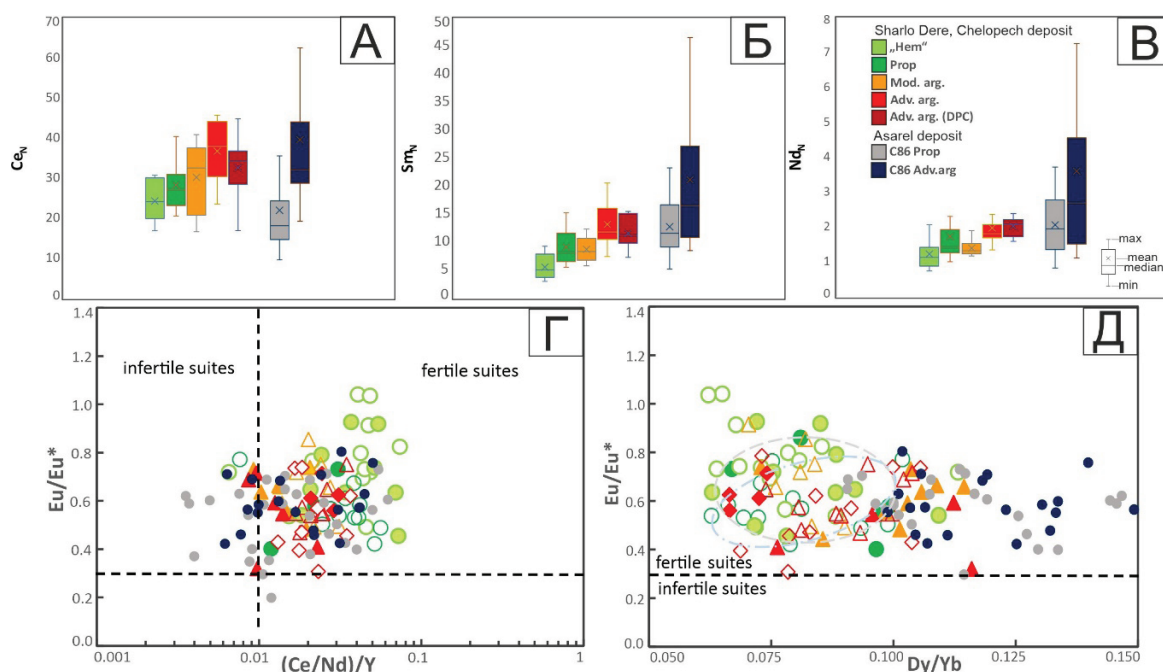
Основните титан-съдържащите минерали в променителните зони на находище Асарел са титанит (магматичен и съхранен само в пропиловите зони) и рутил. Рутилът е един от най-разпространените минерали в хидротермално променените зони на находище Асарел, като се среща в по-силно променените серицитови, аргилизови и интензивно аргилизови скали. Образува се при промяната на титанита и мафичните минерали, като много често се отлага като типичен хидротермален минерал заедно със серицит, хлорит, диаспор, пирит и др. Наблюдава се на групи от няколко кристалчета с големина от 10 до 50 μm . Количеството му се лимитира от това на титана. Въпреки че титанът е относително инертен елемент, в някои образци съдържанията на TiO_2 надвишават 1%. С LA-ICP-MS в рутилите са измерени съдържания на редица елементи от групата на критичните и стратегически суровини, като са установени следните средни стойности (ppm): Sc – 148,1; V – 2300; Rb – 44,4; Sr – 15,9; Y – 25,79; Zr – 699,3; Nb – 4328; Mo – 186,4; Sn – 592,4; Ba – 104; La – 12,7; Ce – 29,4; Hf – 33,2; Ta – 348,3; W – 1058. На Фиг. 4 са показани зависимостите на V, Mo, W и Ta към Nb в измерените рутили. Според съдържанията на главните примеси Nb и V рутилите могат да се разделят на 4 групи: (1) Много висок V (>6700 ppm) + нисък Nb (<2300 ppm) – в зоните на интензивна аргилизация; (2) Висок V (2000 - 3000 ppm) + висок Nb (>4600 ppm) - в пропилит-серицитова зона; (3) Висок V (2000 - 3000ppm) + нисък Nb (<2300 ppm) - 08a – парагонитова зона на хидрогермална промяна; 4) Нисък V (<1100 ppm) + нисък Nb (<2300 ppm) – в зони с пропиловата и пропилит-серицитова промяна на скалите.



Фиг. 4. Диаграми V/Nb, Mo/Nb, W/Nb и Ta/Nb за рутили от находище Асарел.

Елементи-следи в циркони от зони с хидротермални промени

Макар да са малки и по-рядко срещани, акцесорните минерали имат значително влияние върху разпределението на REE, Ti, U, Th, Y, Nb, Ta, Zr, Hf и други КСС, но също така влияят на много от геохимичните вектори при геоложкото проучване. В това изследване представяме геохимични данни за циркони от находищата Челопеч (Шарло дере) и Асарел. Геохимията на цирконите се използва интензивно при предварителната оценка на потенциална рудоносност на магмите, тъй като отразява промените в химичния състав на магмите по време на тяхната еволюция и е индикатор за окислителното състояние на магмите (Dilles et al., 2015). Една от основните хипотези за използването му при проучване на рудни находища е устойчивото му поведение при процеси на хидротермални изменения на скалите. Насочените изследвания на циркони от описаните по-горе диоритови порфирити в проучвателен участък Шарло дере на Cu-Au епитермално находище Челопеч от зони с различна по интензивност и тип на хидротермална промяна (слаба „хематитова“, пропилитова, пропилит-серицитова, кварц-серицитова и интензивно аргилизитова с алунит, с APS-алумино-фосфатно-сулфатни минерали и със запазен апатит) показаха само частичната достоверност на това допускане (Kalchev et al., 2024). Направен бе извод за частична мобилност на някои елементи като Ce, Sm, Nd, Dy и др., което оказва влияние върху използвани за оценка на рудоносност на магмата индикативни отношения и дискриминантни диаграми (напр. Lu et al., 2016). За потвърждаване на направените изводи в настоящото изследване бяха анализирани циркони от вулканити (андезити) с наложена пропилитова и интензивно аргилизитова хидротермална промяна в находище Асарел. Данните са представени на Фиг.5, съвместно с данните за цирконите от участък Шарло дере (находище Челопеч). Изводите за тенденциите в измененията на геохимията на цирконите са направени върху различни скали, поради което имат известни различия в абсолютните стойности на анализирани съдържания на редкоземните елементи и итрия (Фиг. 5А, Б, В). От друга страна се потвърждава изводът за мобилност на някои елементи в цирконите, например нарастване на съдържанията на Ce, Sm, Nd и някои елементни отношения (Фиг. 5Г, Д) в тях със засилването на интензитета на хидротермална промяна.



Фиг. 5. Геохимични диаграми за циркони от диоритови порфирити (Шарло дере, Челопеч) и андезити (Асарел) с различна интензивност на наложените хидротермалните промени. А-В: Бокс-вискерови диаграми за съдържания на Ce, Sm, и Nd; Г) Диаграма Eu/Eu^* към $(Ce/Nd)/Y$ с полета за потенциално рудоносни и нерудоносни магми; Д) Диаграма Eu/Eu^* към Dy/Yb с отбелязано поле на потенциално рудоносни магми с $Eu/Eu^* > 0.3$ (изчертаните с пунктирна линия елипси отразяват полета на циркони от магми в района на Бор, Сърбия и са по Klimentyeva et al. (2022).

Изводи

1. Получените резултати потвърждават изводите за мобилност на главни елементи и елементи-следи (вкл. редкоземни елементи) в скалите при налагане на хидротермална промяна, които могат да се използват като индикативни. При интензивно-аргилизитовата хидротермална промяна е подходящо използването на Rb/Sr (или Sr/Rb) отношение, като неговата индикативност зависи от стабилните минерални фази (APS минерали, алунит, апатит). Мобилността на Sr, Y, La, V, Sc при интензивна хидротермална промяна могат да компрометират изводи за потенциална рудоносност на магмите, поради което по-удачно е използването на свежи скали.

2. Геохимията на хидротермалните минерали хлорит и рутил успешно може да се прилага в медно-порфирни системи за насочване на геолого-проучвателни работи при проучвателно опробване. В допълнение, хидротермалните рутили са потенциален носител на КСС – не само на титан, но и на Nb, Ta, V, W.

3. Цирконите показват белези на мобилност на някои редкоземни елементи и итрий в зоните с висока интензивност на хидротермалните изменения (интензивно- и дори умерена аргилизация). По тази причина оценката на потенциална рудоносност би трябвало да се провежда върху свежи скали, или данните да се интерпретират внимателно, особено при гранични стойности на индикативните отношения, включващи редкоземни елементи.

Благодарности: Изследването е подкрепено от проект REXPro: Устойчиво и ефективно проучване, добив и преработка на критични и стратегически суровини в медно-златни и полиметални находища в България: от рудата до хвостохранилището ([https://www.geology.bas.bg/en/projects-116/show-125\(20\)](https://www.geology.bas.bg/en/projects-116/show-125(20))), финансиран от СледващоПоколениеЕС (NextGenerationEU) по Плана за Възстановяване и Устойчивост, договор БАН BG-RRP-2.011-0040-C01/02 от 29.05.2024 г. Авторите



благодарят на ДПМ Челопеч и Асарел-Медет АД за логистичната подкрепа и достъпа до материали от находища Асарел и Челопеч (проучвателен участък Шарло дере).

Литература

- Пейчева, И., Георгиев, Св. 2024. Националната научна програма „Критични и стратегически суровини за зелен преход и устойчиво развитие“ – възможност за комплексно изследване на минералните и енергийни ресурси в България. *Геология и минерални ресурси*, 9-10, 43-51.
- Попов, П., С. Страшимиров, К. Попов, М. Каназирски, К. Богданов, Р. Радичев, С. Димовски, С. Стойков. 2012. *Геология и металогения на Панагюрския руден район*. София, Изд. МГУ „Св. Иван Рилски“, 227 с.
- Хиков, А. 2014. Поведение на редките елементи при интензивна аргилизация на скалите: Примери от България. – В: *Сборник с доклади, Научен семинар “Редки и разсеяни елементи в България: геоложки, техноложки и екологични аспекти”*, 27.11.2014, София, 76-85.
- Defant, M. J., Drummond, M. S. 1990. Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted lithosphere. *Nature*, 347, 662-665.
- Dilles, J. H., A. J. Kent, J. L. Wooden, R. M. Tosdal, A. Koleszar, R. G. Lee, L. P. Farmer. 2015. Zircon compositional evidence for sulfur-degassing from ore-forming arc magmas. *Econ. Geol.*, 110, 241–251; <https://doi.org/10.2113/econgeo.110.1.241>
- Gallhofer, D., von Quadt, A., Peytcheva, I., Schmid, S.M., Heinrich, C.A. 2015. Tectonic, magmatic, and metallogenic evolution of the Late Cretaceous arc in the Carpathian-Balkan orogen. *Tectonics*, 34, 1813–1836. <https://doi.org/10.1002/2015TC00383>
- Georgieva, S., A. Hikov. 2016. Geochemistry of hydrothermally altered rocks from the Chelopech high-sulphidation Cu-Au deposit, Bulgaria. – *Compt. rend. Acad. bulg. Sci.*, 69, № 6, 761-768.
- Grohol, M., C. Veeh. 2023. *European Commission: Study on the Critical Raw Materials for the EU– Final Report*. Directorate-General for Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs, Publications Office of the European Union; <https://data.europa.eu/doi/10.2873/725585>.
- Guillong, M., D. L. Meier, M. M. Allan, C. A. Heinrich, B. W. D. Yardley. 2008. Appendix A6: SILLS: A MATLAB-based program for the reduction of laser ablation ICP-MS data of homogeneous materials and inclusions. – In: Sylvester, P. (Ed.). *Laser Ablation ICP-MS in the Earth Sciences: Current Practices and Outstanding Issues*. Vancouver, B. C., Mineralogical Association of Canada Short Course, 40, 328–333.
- Halley, S., J. Dilles, R. Tosdal. 2015. Footprints: Hydrothermal alteration and geochemical dispersion around porphyry copper deposits. – *SEG Newsletter*, 100, January 2015, 1–17.
- Hedenquist, J., A. Arribas. 2017. Epithermal ore deposits: first-order features relevant to exploration and assessment. – In: *Proc. of the 14th SGA Biennial Meeting 2017 Mineral Resources to Discover, vol. 1*. Quebec City, Canada, 47–50.
- Herrington, R. 2021. Mining our green future. – *Nature Review Materials*, 6, 456–458. <https://doi.org/10.1038/s41578-021-00325-9>
- Hikov, A. 2004. Geochemistry of strontium in advanced argillic alteration systems – possible guide to exploration. – In: *Geology 2004, Annual Science Conference*, 16-17 December 2004, Sofia, Proceedings, 29-31.
- Hikov, A. 2013. Geochemistry of hydrothermally altered rocks from the Asarel porphyry copper deposit, Central Srednogie. – *Geologica Balcanica*, 42, 1-3, 3-28 <https://doi.org/10.52321/GeolBalc.42.1-3.3>
- Kalchev, R., I. Peytcheva, A. Hikov, M. Trifonova, S. Georgiev, A. Stoyanova. 2024. U-Pb geochronology and trace elements in zircon from hydrothermal alteration zones of Sharlo Dere target, Chelopech deposit (Bulgaria). – *Rev. Bulg. Geol. Soc.*, 85, 2, 179–182. <https://doi.org/10.52215/rev.bgs.2024.85.2.179>
- Klimentyeva, D., M. Velojic, A. von Quadt, S. Hood. 2022. Interpretation of trace element chemistry of zircons from Bor and Cukaru Peki: Conventional approach and random Forest Classification. *Geosciences*, 12, 11, 396; <https://doi.org/10.3390/geosciences12110396>.
- Lu, Y. J.; R. R. Loucks, M. L. Fiorentini, T. C. McCuaig, N. J. Evans, Z. M. Yang, Z. Q. Hou, C. L. Kirkland, L. A. Parra-Avila, A. Kobussen. 2016. Zircon compositions as a pathfinder for porphyry Cu± Mo± Au



- Deposits. – *Society of Economic Geologists Special Publication Series*, 19, 329–347; <https://doi.org/10.5382/SP.19.13>
- Marton, I., Y. Dintchev, M. Trifonova, N. Hadzhieva, M. Grigorova, A. Aleksieva, G. Ivanov, S. Milinković, A. Szakács, M. Knaak, K. Kunchev, R. Gosse. 2016. A new geological model for the Chelopech Au-Cu deposit in Bulgaria: exploring a maar-diatreme system within an intrusive environment. – In: SEG-MJD 2016 Conference (electronic abstracts).
- Popov, P., R. Petrunov, V. Kovachev, S. Strashimirov, M. Kanazirski. 2000. Elatsite-Chelopech Ore field. – In: Strashimirov S., Popov P. (Eds.), *Geology and Metallogeny Features of the Panagyurishte Ore Region (Srednogorie Zone, Bulgaria)*. ABCD-Geode 2000, Workshop, Borovets, Bulgaria, 8–18.
- Proffett, J.M., 2009, High Cu grades in porphyry Cu deposits and their relationship to emplacement depth of magmatic sources: *Geology*, 37, 675–678.
- Richards, J. 2003. Tectono-magmatic precursors for porphyry Cu-(Mo-Au) deposit formation. *Economic Geology*, 98, 8. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.98.8.1515>
- Richards, J.P. 2011. High Sr/Y arc magmas and porphyry Cu ± Mo ± Au deposits: Just add water. *Economic Geology*, 106, 7, 1075–1081. doi: <https://doi.org/10.2113/econgeo.106.7.1075>
- SCREEN. Factsheets Updates. 2023. Available online: <https://screen.eu/crms-2023/> (accessed on 15 February 2025).
- Seedorff, E., Dilles, J.H., Proffett, J.M., Einaudi, M.T., Zurcher, L., Stavast, W.J.A., Johnson, D.A. & Barton, M.D. 2005. Porphyry Deposits: Characteristics and Origin of Hypogene Features. In: Hedenquist, J.W., Thompson, J.F.H., Goldfarb, R.J., Richards, J.P. (eds). *Economic Geology - One hundredth anniversary Volume*. Society of Economic Geologists, Littleton, pp 251-299.
- Sillitoe, R. 2005. Supergene oxidized and enriched porphyry copper and related deposits: *Economic Geology 100th Anniversary Volume*, p. 723–768.
- Sillitoe, R. 2010. Porphyry copper systems. – *Economic Geology*, 105, 3–41.
- Strashimirov, S., R. Petrunov, M. Kanazirski. 2002. Porphyry-copper mineralization in the central Srednogorie zone, Bulgaria. – *Mineral. Deposita*, 37, 587–598; <https://doi.org/10.1007/s00126-002-0275-6>
- Wilkinson, S. Inglis, H. Chen, J. Bruce Gemmell. 2015. The chlorite proximitor: A new tool for detecting porphyry ore deposits. – *J. Geochem. Explor.*, 152, 10-26.
- Wilkinson, J.J., Baker, M.J., Cooke, D.R., Wilkinson, C.C. & Inglis, S. (2020): Exploration Targeting in Porphyry Cu Systems Using Propylitic Mineral Chemistry. A Case Study of the El Teniente Deposit, Chile. *Economic Geology*, 115, 771–791.
- Williams, N., Davidson G. 2004. Possible submarine advanced argillic alteration at the Basin Lake prospect. West Tasmania, Australia. *Economic Geology*, 99, 987–1002. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.99.5.987>
- World Bank Report in 2020: Minerals for Climate Action: The Mineral Intensity of the Clean Energy Transition, 129 pp. ([World Bank Document](#))



ГАЗИФИЦИРАНЕ НА ВЪГЛИЩА С ЦЕЛ ЗАДОВОЛЯВАНЕ НА НУЖДИТЕ ОТ ЕНЕРГИЯ ЗА ДОБИВ НА КРИТИЧНИ И СТРАТЕГИЧЕСКИ СУРОВИНИ В БЪЛГАРИЯ (НАЦИОНАЛНА НАУЧНА ПРОГРАМА: КРИТИЧНИ И СТРАТЕГИЧЕСКИ СУРОВИНИ ЗА ЗЕЛЕН ПРЕХОД И УСТОЙЧИВО РАЗВИТИЕ)

Ирена Костова¹, Деница Апостолова¹, Данаил Йовчев²

**¹Софийски университет „Св. Кл. Охридски“, Катедра Геология, палеонтология и изкопаеми
горива; ²Минно-геоложки университет „Св. Ив. Рилски“, Катедра Геология и проучване на
полезни изкопаеми**

1. ЦЕЛ НА НАЦИОНАЛНАТА НАУЧНА ПРОГРАМА (ННП)

ННП има за цел да проведе фундаментални и научно-приложни изследвания за разкриване на потенциала на България за наличие и добив на критични и стратегически суровини. За целта ще бъде установена концентрацията им в различни видове скали, полезни изкопаеми, включително въглища и промишлени отпадъци, свързани с добива и преработката им. В рамките на ННП ще се направи оценка на потенциала на страната ни във връзка с нуждите от над 30 критични и стратегически суровини, ще се тестват и препоръчат иновативни методи и технологии за извличането им, които да са максимално щадящи околната среда (води, почви, речни седименти и въздух).

2. ЗНАЧЕНИЕ НА ГАЗИФИКАЦИЯТА НА МЕСТНИ ВЪГЛИЩА ЗА ИЗПЪЛНЕНИЕ НА ЦЕЛИТЕ НА ННП

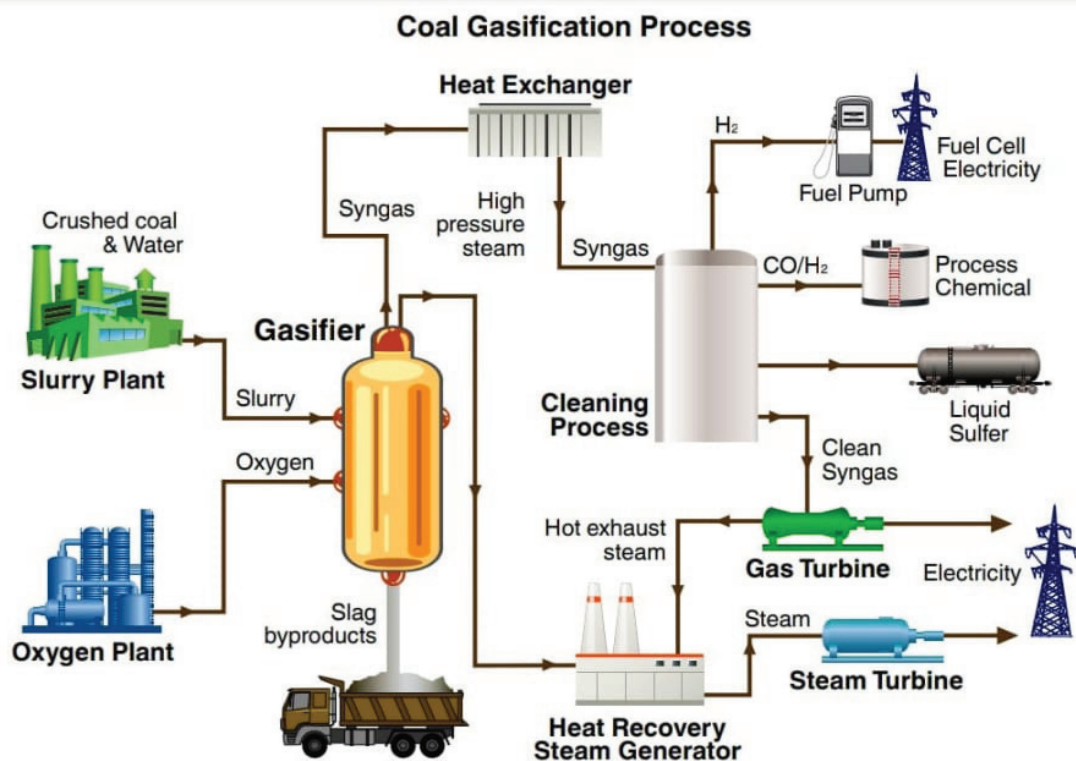
Газификацията е съвременна алтернативна технология за използване на въглищата с цел получаване на енергия, която има редица предимства в сравнение с традиционното им изгаряне в ТЕЦ. Тя е особено подходяща и устойчива, когато е интегрирана със система за улавяне на CO_2 и се прилага в индустрии изискващи висок разход на енергия. Такава енергоемка индустрия е добива на критични и стратегически суровини. За да бъдат тези елементи и минерали извлечени от скали, полезни изкопаеми, въглища и отпадъците от преработката им е необходим огромен разход на енергия, която може да се генерира основно от газификацията на наличните у нас лигнити от Източномаришкият басейн, но също и от въглища и от други басейни в страната ни.

3. КАКВО ПРЕДСТАВЛЯВА ГАЗИФИКАЦИЯТА НА ВЪГЛИЩА?

Газификацията е технологичен процес, при който въглищата се преобразуват в горивен / синтетичен газ. Процесът протича в газогенератори при висока T и/или P и в присъствието на O_2 , водни пари, CO_2 и H_2 , в резултат на което органичната част на горивото се превръща в газообразни продукти (синтетичен газ) и минерални остатъци (пепел или шлака).

Съставен предимно от CO и H_2 , синтетичният газ има разнообразни приложения. Той може да бъде допълнително преобразуван и превърнат в различни продукти. Когато H_2 се изгаря, той се трансформира в топлина и H_2O , което създава електричество без CO_2 и отработените газове. Освен това, H_2 , произведен от въглища може да се използва за получаване на петролни продукти като бензин и дизелово гориво и за производство на амоняк и торове.

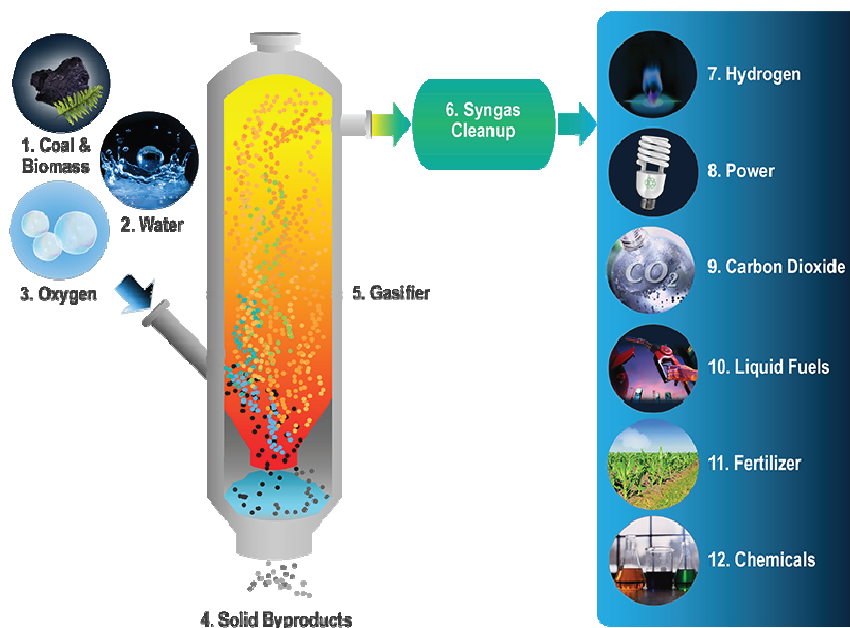
При газификацията на въглища, CO_2 може да бъде ефективно уловен от синтетичния газ и да бъде безопасно съхранен или използван за добив на нефт, което свежда до минимум отделянето на парникови газове в атмосферата. Процесът на газификация на въглища и различните етапи, през които той преминава е представен на фиг. 1.



Фиг. 1. Процес на газификация на въглища [1].

Газификацията може да бъде наземна и подземна.

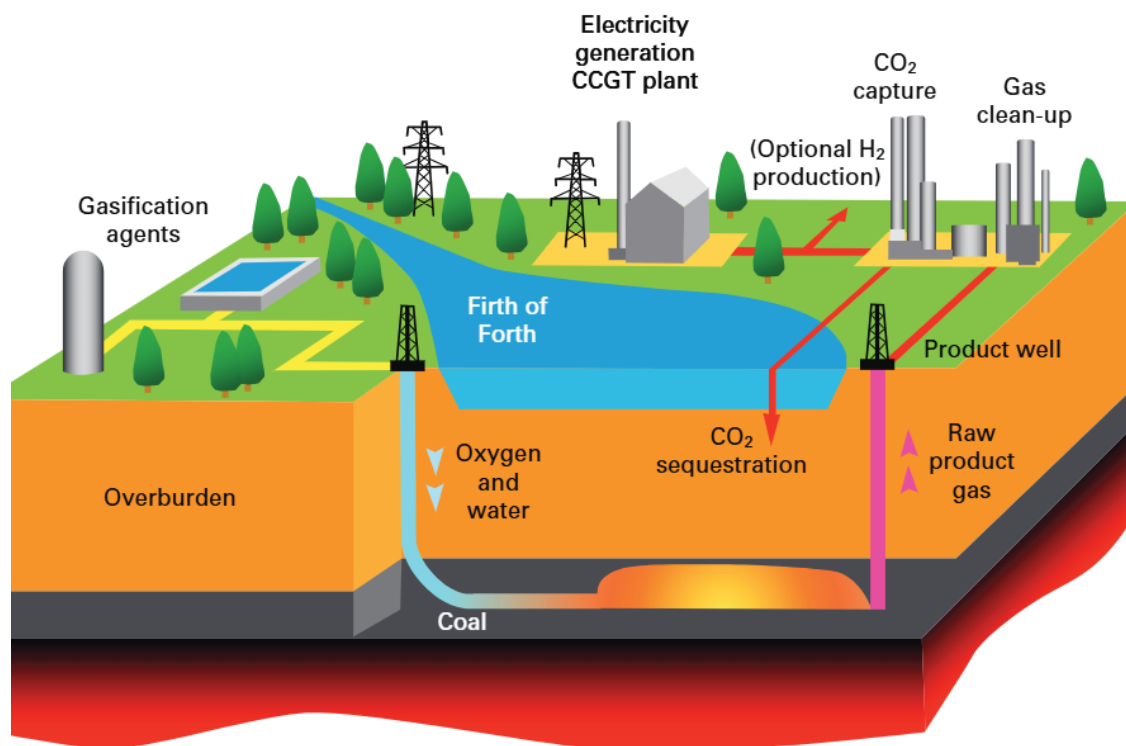
3.1. При наземни условия газификацията се осъществява в газогенератори.



Фиг. 2. Процес на газификация в газогенератор [2].



3.2. При подземната газификация, въглищата се газифицират директно в пласта.



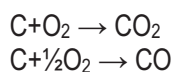
Фиг. 3. Принципи на подземната газификация [3].

И двата метода превръщат въглищата в синтетичен газ и минерални остатъци, като подземната газификация намалява нуждата от добив и транспортиране на въглищата, докато класическата газификация позволява по-добър контрол върху Т, Р и качеството на продуктите.

4. ХИМИЧЕСКА СЪЩНОСТ НА ГАЗИФИКАЦИЯТА

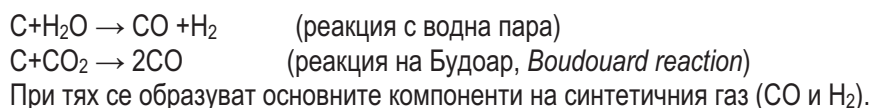
Химичните процеси при газификация са комплексни и включват последователни физични трансформации и химични реакции. Въглищата в присъствието на O_2 и водна пара, преминават през различни етапи, като сушене, пиролиза, окисление и газификация. Химичните реакции протичат в различна степен в зависимост от Т и Р, което води до образуването на синтетични газове ($CO+H_2$). При въглищната газификация протичат два вида реакции - екзотермични и ендотермични.

- **Екзотермични реакции на горене:**

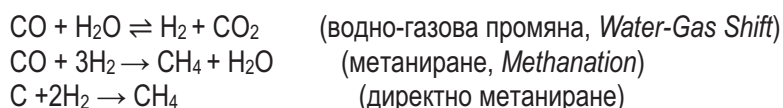


Тези реакции отделят топлината, необходима за протичането на ендотермичните процеси в реактора.

- **Ендотермични реакции на газификация:**



Заедно с това протичат и други второстепенни равновесни процеси:





Тези реакции определят крайното съотношение H_2/CO и съдържанието на метан в синтетичния газ.

4. ВИДОВЕ ГАЗОГЕНЕРАТОРИ

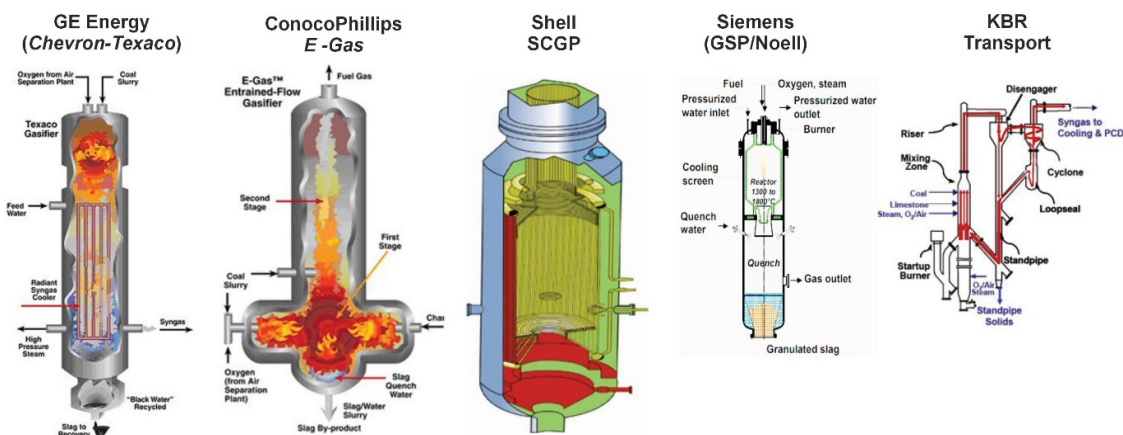
Има **три вида газогенератори** и разликата между тях е свързана с това как въглицата взаимодействат с подавания въздух.

Във връзка с това газогенераторите се различават по конструктивни характеристики, режим на работа и технологични параметри.

В зависимост от принципа им на действие, те биват: газогенератори в неподвижен слой, газогенератори в увлечен слой и газогенератори във флуидизиран слой. На табл. 1 са представени основните видове газогенератори, принципите и условията им на работа, а на фиг. 4 газогенераторите, използвани от водещи компании.

Таблица 1. Основни видове газогенератори.

Вид газогенератор	Принцип на работа	Условия	Търговски марки
Неподвижен слой	Газът преминава през неподвижен слой гориво	Ниско налягане, до ~1000 °C	Lurgi, British Gas Lurgi (BGL)
Увлечен поток	Фини частици гориво се увличат от газовия поток	Високо налягане, 1200–1600 °C	Shell, GE Energy, CB&I E-Gas™
Флуидизиран слой	Частиците са във „флуидизирано“ (кипящо) състояние	Ниско налягане, до ~1000 °C	KBR Transport, Winkler, Great Point Energy



Фиг. 4. Газогенератори, използвани от водещи компании.

5. КАЧЕСТВО НА ВЪГЛИЩАТА И ГАЗИФИКАЦИЯ

Характеристиките на въглицата, които са важни за последващата им газификация са следните:

Ранг – Въглища с нисък ранг имат по-висока реактивност, поради по-голяма си специфична повърхност (порьозност);

Летливи вещества – 1) Високото им съдържание благоприятства процеса на газификацията, но води до образуване на катрани; 2) Ниското им съдържание намалява реактивността и води до получаване на по-високо количество на твърд остатък;

Пепел – Тя не влияе на състава на синтетичния газ, но е важна за определяне на технологията на газогенератора. Ниска t° на топене → твърдо отделяне; висока t° → шлага;

Влага – Високото ѝ съдържание понижава T и намалява ефективността на процеса. Допустимо съдържание → от 5-10% за съвременни инсталации, до около 35% за традиционни инсталации.

Допълнителни параметри: размер на частиците; порьозност; съдържание на S; и минерални примеси. Те влияят върху избора на технология и необходимостта от допълнителна обработка на синтетичния газ [2].



Посочените по-горе характеристики на въглищата определят избора на конкретен газогенератор. В таблица 2 са посочени примери за внедрени в производството или тествани различни газогенератори и вида на използваните от тях въглища.

Таблица 2. Примери за внедрени в производство или тествани различни газогенератори.

Технология / Производител	Високопепелни въглища	Лигнити	Суббитуминозни въглища	Илинойски басейн (битуминозни въглища)	Апалачки басейн (битуминозни въглища)	Антрацитни и групи битуминозни въглища
BGL						
CB&I E-Gas™						
GE Energy						
KBR Transport						
Sasol-Lurgi						
Shell						
Siemens						
ЛЕГЕНДА						
Милиони тонове експлоатация						
Демонстрирани технологии (500 TPD или повече)						
Тествано						

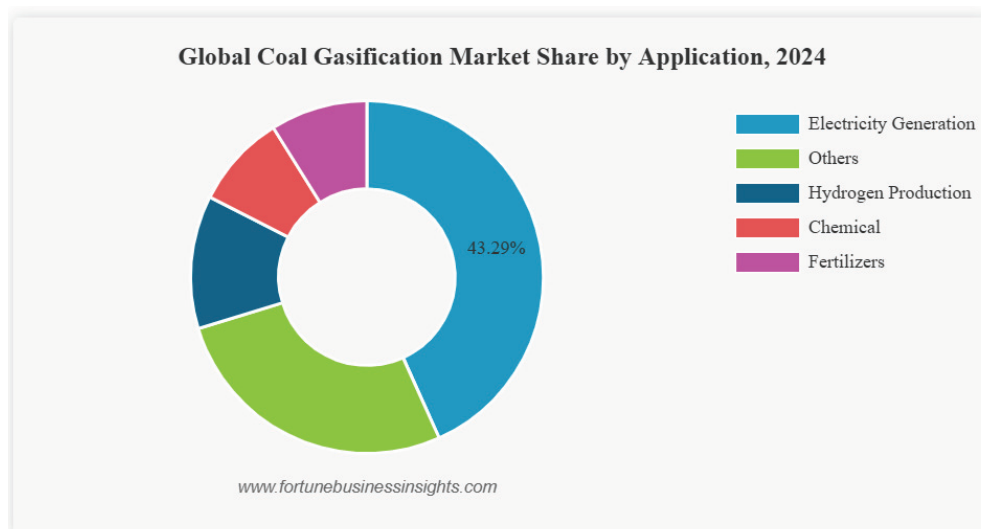
6. ГАЗИФИКАЦИЯТА НА ВЪГЛИЩА – ИКОНОМИЧЕСКИ ПОЛЗИ И ПОЛЗИТЕ ЗА ОКОЛНАТА СРЕДА

Газификацията е термо-химичен процес, който предлага технологична алтернатива на директното изгаряне на въглищата в ТЕЦ и има доказани редица икономически и екологични предимства.

Икономически предимства

- Гъвкавост при използване на суровините – технологията позволява използване на въглища с различен ранг и качество, включително нискокалорични и високопепелни въглища.
- Производство на синтетичен газ с висока добавена стойност – използва се за производство на електроенергия, H₂, метанол (CH₃OH), амоняк (NH₃) и други химически вещества.
- Висока енергийна ефективност – особено при интегрирани газификационни цикли (IGCC), които постигат до 50% ефективност.
- Възможност за използване на местни ресурси за производство на енергия – това намалява зависимостта от вносни горива и подобрява енергийната сигурност на държаните и регионите.

На фиг. 5 е представен дялът на пазара на продукти, получени от газификация на въглища в световен мащаб, който показва, че продуктите отиват предимно за получаване на енергия, но също и за производство на химикали, H₂, азотни торове и т. н.



Фиг. 5. Дял на пазара на продукти, получени от газификацията на въглища в световен мащаб.



Предимства, свързани с опазване на околната среда

- Намаляват емисиите на вредни вещества – газификацията позволява предварително пречистване на синтетичните газове, което води до значително по-ниски емисии на SO_x , NO_x , прахови частици и тежки метали.
- Съществуват технологии за улавяне и съхранение на CO_2 (CCS) – това подпомага прехода към нисковъглеродна икономика.
- Позволява по-добър контрол върху процесите – високото налягане и температура при процеса на газификация улесняват пречистването и оптимизират състава на газовете.
- Отделя се по-малко количество твърди отпадни продукти, които биха могли да се използват повторно.

7. ГАЗИФИЦИРАНЕ И УЛАВЯНЕ НА CO_2

Едно от основните предимства на газифицирането на въглищата в сравнение с изгарянето им в ТЕЦ е възможността за улавяне на CO_2 .

При конвенционално изгаряне на въглищата в ТЕЦ, въздухът и горивото се смесват и изгарят, след което отработените газове се изхвърлят през комините на ТЕЦ при налягане, близко до атмосферното. Тъй като въздухът съдържа голямо количество N_2 , който значително разрежда тези газове, то CO_2 е с ниска плътност и улавянето му след изгарянето е трудно, енергоемко и скъпо начинание.

В процеса на газификация към газогенератора се подава O_2 и се изгаря контролирано количество гориво, колкото е необходимо, за да се осигури T за газифициране на останалата част от горивото, като процеса протича при повишено P . Полученият, синтетичен газ е с по-високо P , не е разреден с N_2 , което позволява по-лесно, ефективно и евтино отстраняване на CO_2 . Заедно с улавянето му се отстраняват и др. вредни вещества като SO_x , NO_x и редица тежки метали, а количеството на отделените твърди частици е минимално.

Тази уникална способност на газификацията, интегрирана с комбинирания цикъл на изгаряне (IGCC), която води до лесно улавяне на CO_2 от синтетичния газ още преди изгарянето му в газова турбина е едно от големите предимства пред конвенционалното изгаряне на въглищата в ТЕЦ.

8. ПРИМЕРИ ЗА ИНДУСТРИАЛНО ГАЗИФИЦИРАНЕ НА ВЪГЛИЩА

8.1. Примери за индустриално газифициране на въглища по света.

Газификацията на въглища се прилага успешно в някои страни по света. В последните десетилетия са реализирани редица големи проекти, които доказват практическата приложимост.

Китай е водещ в индустриалната газификация на въглища с над 100 активни инсталации, които произвеждат синтетичен газ ($\text{CO} + \text{H}_2$), метанол, амониак и течни горива, използвайки газогенератори с неподвижен, увлечен и флуидизиран слой. Един от най-мащабните проекти е Lu'an Coal Gasification Project в провинция Шанси, реализиран от Air Products и Lu'an Clean Energy, който обработва около 12 000 тона въглища дневно чрез технологията Shell Coal Gasification Process (SCGP). Полученият синтетичен газ се използва за производство на течни горива и химически продукти, като проектът осигурява топлинна мощност, еквивалентна на приблизително 1 000 MW. [4, 5]. Друг пример за мащабно промишлено приложение на технологията е Edwardsport IGCC Plant (Индиана, САЩ), реализиран от Duke Energy, с мощност 618 MW. Основната използвана технология е интегриран газификационен комбиниран цикъл (IGCC), при който въглищата се превръщат в синтетичен газ, захранващ газова и парна турбина. Технологията осигурява значително по-ниски емисии на SO_x , NO_x и прахови частици в сравнение с конвенционалните ТЕЦ [2, 4, 6]. Освен в Азия и САЩ, успешни инсталации за газификация на въглища са реализирани и в Европа – като Puertollano IGCC (Испания), Buggenum IGCC (Нидерландия), Schwarze Pumpe (Германия) и Kozienice IGCC (Полша). Те показват практическите предимства на технологията за по-чисто и ефективно преобразуване на въглища в енергия и химически продукти.



8.2. Индустиално газифициране на въглища у нас.

България няма опит в газификацията на въглища в индустиални условия. Нашата страна е участвала в един международен проект, финансиран от ЕК в периода 2013-2015 г., заедно с Германия, Великобритания, Гърция и Португалия. Обект на изследване са били дълбоко залягащите въглищни пластове на Добруджанския басейн. В рамките на този проект са разработени геоложки, геомеханични и хидрогеоложки модели, оценени са рискове и екологична устойчивост, анализирана е икономическата ефективност за подземната им газификация. В проучването се казва, че комбинирането на подземно газифициране (UCG) с улавяне и съхранение на CO₂ (CCS) на въглищните пластове в Добруджанският басейн е технически възможно и икономически оправдано при строг контрол и на въздействието върху околната среда [7].

9. НАСОКИ ЗА БЪДЕЩА РАБОТА

В рамките на поставената задача, а именно газифициране на въглища с цел задоволяване на нуждите от енергия за добив на критични и стратегически суровини в България в рамките на Националната научна програма ще бъдат изследвани основните характеристики на въглищата, които имат отношение към процеса на газификацията им (влага, пепелно съдържание, летливи вещества, размер на частиците, обем и повърхностни свойства на порите, съдържание на S и минерални примеси), като предмет на изследване ще бъдат въглищата от Източномаришкият, Добруджанският, Карловският и др. въглищни басейни у нас.

10. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Газификацията предлага алтернатива на по-утвърдените начини за преобразуване на въглища в електричество и е особено подходяща за използване в региони с наличие на критични и стратегически суровини с цел извличането и употребата им.

Предимства на газификацията на въглища са: 1) Използване на местни енергийни суровини, напр. лигнитите от Източномаришкия басейн за производство на електроенергия за захранване на добивни и преработвателни инсталации за извличане на критични и стратегически суровини; 2) Намаляване на енергийна зависимост на страната ни; 3) Гъвкавост при използване на нискокачествени въглища (напр. лигнитите от Източномаришкия басейн) и 4) Възможност за улавяне и съхранение на CO₂ и пречистване на горивните газове.

Благодарности. Настоящият обзор е проведен във връзка с изпълнението на Национална научна програма (ННП) „Критични и стратегически суровини за зелен преход и устойчиво развитие“, одобрена с Решение на МС № 508/18.07.2024 г и финансирана от МОН.

Литература

- [1] Pepperl+Fuchs GmbH. (б.г.). *The Challenges and Benefits of Coal Gasification*. Изтеглено на 8 октомври 2025 г. от: https://files.pepperl-fuchs.com/selector_files/navi/productInfo/doct/tDoctb0d4_eng.pdf
- [2] U.S. Department of Energy, National Energy Technology Laboratory. (б.г.). *Gasifipedia*. Изтеглено на 9 октомври 2025 г. от: <https://netl.doe.gov/carbon-management/energy-systems/gasification/gasifipedia>
- [3]. Smart, B. G. D., Rippon, J., Olden, P., Tatum, D., Ford, J. T., Somerville, J. M., Darlow, T., Foxon, R., Jowitt, P., Corbett, P. W. M., Newborough, M. & Westerman, A. R. (2005). *Creating the Coalmine of the 21st Century: The feasibility of Underground Coal Gasification under the Firth of Forth*. Institute of Petroleum Engineering, Heriot-Watt University. Изтеглено на 8 октомври 2025 г. от: https://www.researchgate.net/publication/277309667_CREATING_THE_COALMINE_OF_THE_21ST_CENTURY_The_feasibility_of_UCG_under_the_Firth_of_Forth#fullTextFileContent
- [4]. Air Products. (2018). *Lu'an Coal Gasification Project*. Изтеглено на 22 октомври 2025 г. от: <https://www.airproducts.com>



- [5]. Gasification & Syngas Technologies Council. (2020). *World Gasification Database Report*. Изтеглено на 22 октомври 2025 г. от: <https://www.gasification-syngas.org>
- [6]. Duke Energy. (2020). *Edwardsport Integrated Gasification Combined Cycle (IGCC) Plant*. Изтеглено на 22 октомври 2025 г. от: <https://www.duke-energy.com/our-company/environment/edwardsport>
- [7]. Yong Sheng, A., Benderev, A., Bukolska, D., Eshiet, K. I.-I., da Gama, C. D., Gorka, T., Green, M., Hristov, N., Katsimpardi, I., Kempka, T., Kortenski, J., Koukouzas, N., Nakaten, N., Sarhosis, V., Schlueter, R., Navarro Torres, V., Veríssimo, A. C., Vesselinov, V., & Yang, D. (2016). Interdisciplinary studies on the technical and economic feasibility of deep underground coal gasification with CO₂ storage in Bulgaria. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 21(4), 595–627. <https://doi.org/10.1007/s11027-014-9608-9>



ВЪГЛИЩАТА В СВЕТОВНИЯ ЕНЕРГИЕН МИКС – ЗНАЧЕНИЕ И ПЕРСПЕКТИВИ

Станислав Топалов – stopalov@gmail.com, Иван Марков, Евтим Кърцелин

ABSTRACT

The significant share of solid fuels in the global economy is undeniable - they provide 38% of global energy consumption, and include coal, peat, wood waste and others, while coal providing 28.3% of it. Many forecasts for future consumption are pessimistic and assume a gradual decrease in their share in the energy balance due to the penetration of renewable energy sources. It is inevitable to check such pessimistic scenarios for their use, especially given the relationships between coal consumption data and various factors - for example, world population and renewable energy production. It is necessary to quantitatively account for the relationship between the volume of energy produced from coal, world population and renewable energy production in different regions of the world. A number of studies have found a decline in coal consumption and a simultaneous increase in renewable energy consumption only in Europe, while in many other regions the relative share of coal has either increased or remained stable.

Key words: coal, solid fuels, energy consumption, renewable resources, correlation, correlation-regression model

РЕЗЮМЕ

Значителният дял на твърдите горива в световната икономика е неоспорим - те осигуряват 38% от световното потребление на енергия и включват въглища, торф, дървесни отпадъци и други, като въглищата осигуряват 28,3% от него. Много прогнози за бъдещото потребление са песимистични и предполагат постепенно намаляване на дела им в енергийния баланс поради въвеждането на възобновяеми енергийни източници. Неизбежно е да се проверят подобни песимистични сценарии за тяхното използване, особено като се имат предвид връзките между данните за потреблението на въглища и различни фактори - например световното население и производството на възобновяема енергия. Необходимо е количествено да се отчете връзката между обема на произведената енергия от въглища, световното население и производството на възобновяема енергия в различните региони на света. Редица изследвания установяват спад в потреблението на въглища и едновременно увеличение на потреблението на възобновяема енергия само в Европа, докато в много други региони относителният дял на въглищата или се е увеличил, или е останал стабилен.

Ключови думи: въглища, твърди горива, потребление на енергия, възобновяеми ресурси, корелация, корелационно-регресионен модел.

ВЪВЕДЕНИЕ

Твърдите горива продължават да играят значителна роля в световния енергиен баланс, осигурявайки 38% от нуждите на световното потребление на енергия, като въглищата имат най-голям дял от тях - приблизително 28,3%. Следователно, световната въгледобивна промишленост е ключов сектор в световната икономика, осигурявайки значителна част от енергията и суровините за различни сектори, най-вече металургичната и химическата промишленост [1].

Най-големите запаси от въглища се намират в страни като Съединените щати, Русия, Китай, Австралия и Индия, където се добиват различни видове въглища със специфични качества и приложения.

В последно време делът на въглищата на световния енергиен пазар намалява поради приемането на енергоспестяващи и възобновяеми енергийни източници (ВЕИ), докато приносът им в енергийния баланс на азиатския пазар нараства. В Китай той е над 50%, и често води до негативни тенденции [2], например количествата емисии на CO₂ и увеличаване на случаите на онкологични



заболявания. В същото време редица автори обсъждат и технологичните нововъведения във въгледобивната промишленост, например [2, 3].

Въглищата играят значителна роля и в енергийния баланс на Индия, доказано в някои проучвания [4], където се посочват анализи и причини за изграждане на нови въглищни електроцентрали в Индия, Индонезия, Виетнам и Бангладеш. Налице е финансова поддръжка и износ на оборудване за изграждане на нови въглищни електроцентрали от Китай. Някои автори [5] посочват в значението на въгледобива за индийската икономика, освен формалната и осигуряване на неформална заетост на индийските домакинства, а други [6] разглеждат въздействието на разширяване на мините върху живота на обикновените индийци.

Очакванията са тази ситуация да се запази до 2040 г., след което се предвижда използването на въглища в енергийния микс да намалява поради разширяване на ВЕИ, вследствие вредите, които въглищата причиняват на околната среда и човешкото здраве. Много изследвания, включително [7], разглеждат намаляването на потреблението на въглища в Съединените щати, както и потреблението на въглища в Китай, Индия и Русия. Полски учени [8] изследват добива на въглища в Полша в контекста на политиката на ЕС за климата и енергетиката. В [9] се разглежда намаляването на производството на въглища в Италия. В много трудове е разгледано въздействието на използването на въглища върху човешкото здраве (напр в [10]).

Излъчените негативни въздействия са провокирали разработване на нови технологии за използване на въглищата в енергетиката и в други клонове на промишлеността – запълване на въглищни пластове с водород като съоръжения за съхранението му. Дълбоките въглищни пластове се разглеждат като потенциални целеви резервоари за съхранение на водород, а пропускливостта на въглищата е ключов параметър, определящ колко бързо водородът може да бъде инжектиран и извлечен отново [11].

Използването на пепел и шлага в различни промишлени сектори, включително строителство, рекултивация на почви, добив на ценни метали и други приложения, е изследвано в работата на Джоу и Бхатарай [12]. Пепелта от въглища може да се използва и в селското стопанство, напр. за тор в чаената промишленост [13]. В различни други изследвания [14,15] се разглежда съвместно използване на въглищата като съставна част, заедно с биомаса - например черупки от какаови зърна и/или други растителни компоненти.

Въпреки предизвикателствата, свързани с използването на въглища в световната икономика, те ще запазят своя потенциал, поне в краткосрочен и средносрочен план, което личи от динамиката на производството на електроенергия от въглища, показана на фиг. 1.

Както е известно, добивът на въглища се извършва по открит и по подземен начин. Откритият добив е най-рентабилният и безопасен метод за работещите, но най-често причинява значителни щети на околната среда и изисква последваща рекултивация на местата за добив поради унищожаване на ландшафта в района. Подземният добив обикновено се използва там, където откритият добив не е рентабилен, въпреки че е по-скъп от него, но и той се прилага доста често.

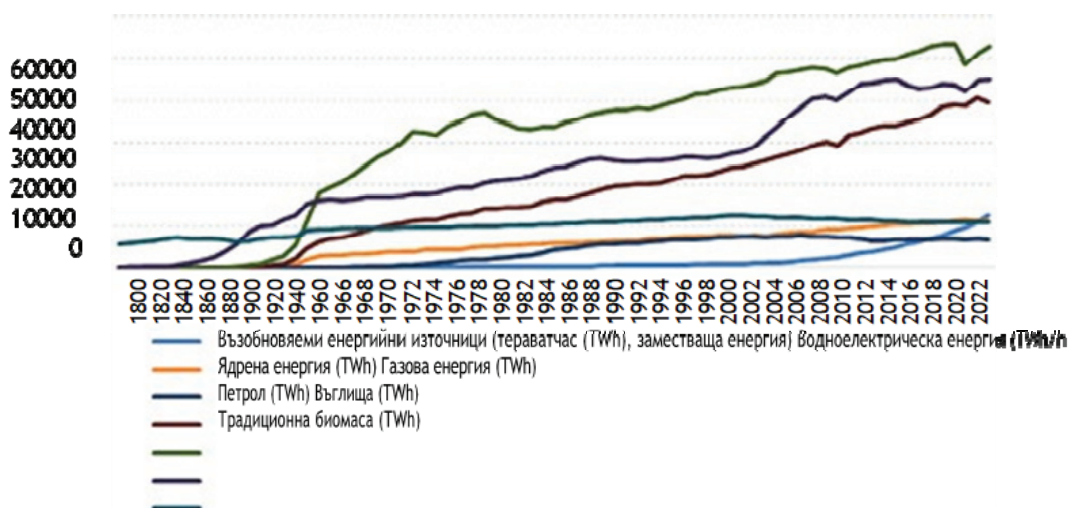
Най-големи нетни доставчици на въглища на световния пазар са Австралия и Индонезия, докато най-големите нетни вносители са Китай и Индия. Големият брой доставчици прави пазара на въглища силно конкурентен, а това води до по-висока нестабилност на цените на добитите в световен мащаб въглища [1].

Както бе отбелязано, въздействието върху околната среда на въгледобивната промишленост е съществен фактор при нейната оценка, а именно включването на емисиите на парникови газове, замърсяването на въздуха и водата, и влиянието на открития добив върху екосистемите и ландшафта в района кариерите.

Внедряването на нови съвременни технологии, улавянето и съхранението на въглероден диоксид (CO₂), е отговор на екологичните предизвикателства за намаляване на отрицателното въздействие върху екосистемите. Освен това въгледобивната промишленост финансира и изследвания за алтернативни приложения на въглищата, за да намали въздействието им върху околната среда и екологичния баланс [16].



С цел намаляване негативното въздействие на въгледобивната промишленост, правителствата в много страни и международни организации въвеждат строги стандарти за въгледобивната промишленост, чието предназначение е ограничаване на вредното влияние върху околната среда и гарантиране на безопасността на труда, особено при подземния добив.



Фиг. 1. Производство на енергия в света от различни източници, TWh (изготвено по данни от Our World in Data*) *Официален уебсайт URL адрес: <https://ourworldindata.org/grapher/global-energy>

Въпреки бурния натиск върху въгледобивната промишленост от международни организации и различни правителства, производството на въглища засега не намалява, което показва значението му за световния енергиен баланс. Относителният дял на възобновяемите енергийни източници нараства експоненциално, но те не изместват традиционните, а по-скоро задоволяват допълнителни енергийни нужди на световната икономика. Утвърждаването или опровергаването на тази хипотеза, изисква анализ, основан на сравняване на динамиката на световното производство на електроенергия от различните източници.

МЕТОДИКА НА ИЗСЛЕДВАНЕ

В изследването на доц. кин Курилов К. Ю. от Института по финанси, икономика и управление на Държавния университет в Толиати, Русия [1] са използвани основно статистически методи, събиране и групиране на данни от статистически наблюдения, методи за изграждане на вариационни серии, извършване на извадки, и на корелационен и регресионен анализ.

Корелационният анализ е използван за определяне на силата на връзката между серии от данни, отразяващи глобалното производство на електроенергия от различни източници, а регресионният анализ - за създаване на модели, позволяващи извеждане на уравнение, предсказващо обема на глобалното производство на електроенергия от различни източници, като въглища и възобновяема енергия.

Получените резултати дават основание за утвърждаване или отхвърляне на началната хипотеза чрез определени критерии.

РЕЗУЛТАТИ ОТ ИЗСЛЕДВАНЕТО

На първия етап е разгледана и оценена динамиката на глобалното производство на електроенергия от различни източници, като въглищата са първият източник, който започва да измества традиционната биомаса (дървесина и др.) на световния енергиен пазар, достигайки пиково потребление от 44 858,12 TWh през 2014 г. Впоследствие консумацията на въглища започва да намалява, но тази тенденция се обръща и почти достига своя пик от 2014 г. през 2022 г. В момента въглищата са на второ място в световен мащаб по произведена енергия, след петрола, който засега е

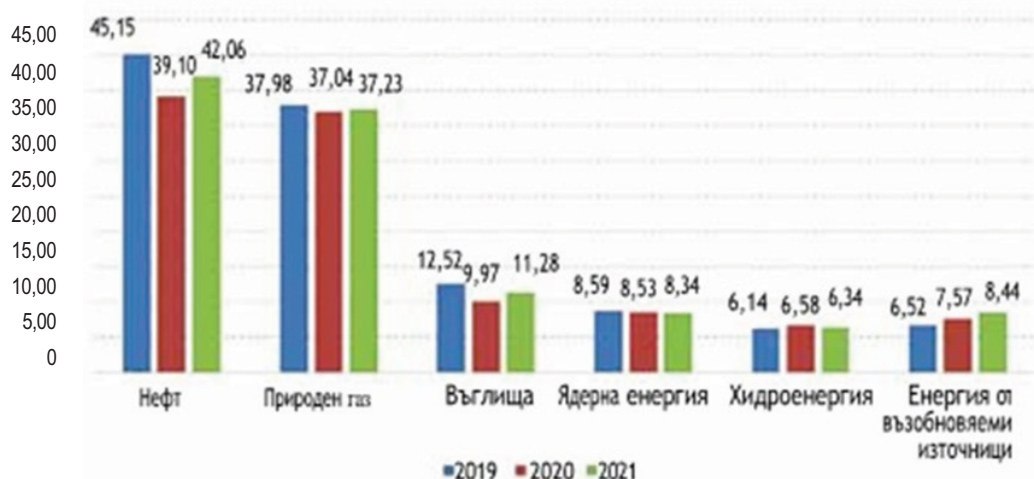


лидер на световния енергиен пазар. Петролът обаче навлиза на енергийния пазар малко по-късно от въглищата.

На трето място в световния енергиен микс е газът, като е широко използван в световната икономика в края на XIX-ти и началото на XX-ти век. Възобновяемите енергийни източници (слънчева енергия, въздух и биогорива) започват да се използват широко в световната икономика в средата на XX-ти век, като понастоящем производството на енергия от тези източници възлиза на 12 548,85 TWh. В това отношение БЕИ превъзхождат ядрената енергия, водноелектрическата енергия и традиционната биомаса.

Прегледът на производството на електроенергия от различни източници в основните региони на световната икономика, фиг. 2, показва производството на електроенергия в Северна Америка от различни източници.

Основният енергиен източник в Северна Америка е петролът, следван от природния газ, ядрената енергия, водноелектрическата енергия и възобновяемата енергия.



Фиг. 2. Потребление на първична енергия в Северна Америка от различни източници, екздажули (изготвено въз основа на данни от BP*)

Анализът на потреблението на първична енергия в Южна Америка показва, че както в Северна Америка, петролът и водноелектрическата енергия са водещите източници за производство на енергия. Възобновяемата енергия също е значителен фактор, като през 2021 г. е на четвърто място, изпреварвайки въглищата като основен енергиен източник.

В Европа петролът, природният газ и възобновяемата енергия са водещите първични енергийни източници. Въглищата са четвъртият по големина първичен енергиен източник в Европа, следвани от ядрената енергия и водноелектрическата енергия. Така само Южна Америка и Европа са регионите, където възобновяемите енергийни източници превъзхождат въглищата по отношение на производството на първична енергия.

В страните от ОНД класическите лидери в производството на енергия са петрол, природен газ и въглища, а относителния дял на възобновяемите източници все още е незначителен.

В Близкия изток структурата на производство и потребление на първична енергия е различна от тази на световния пазар. Природният газ е начело, изпреварвайки традиционния лидер – петрола, което се дължи на значителните количества природен газ, използвани от икономиката на Близкия изток. Използването на други ресурси за производство на първична енергия е незначително. Потенциалът на слънчевата енергия, възобновяеми енергийни източници, обаче е много висок в Близкия изток поради специфичния климат, което обаче изисква значителни инвестиции в този сектор.



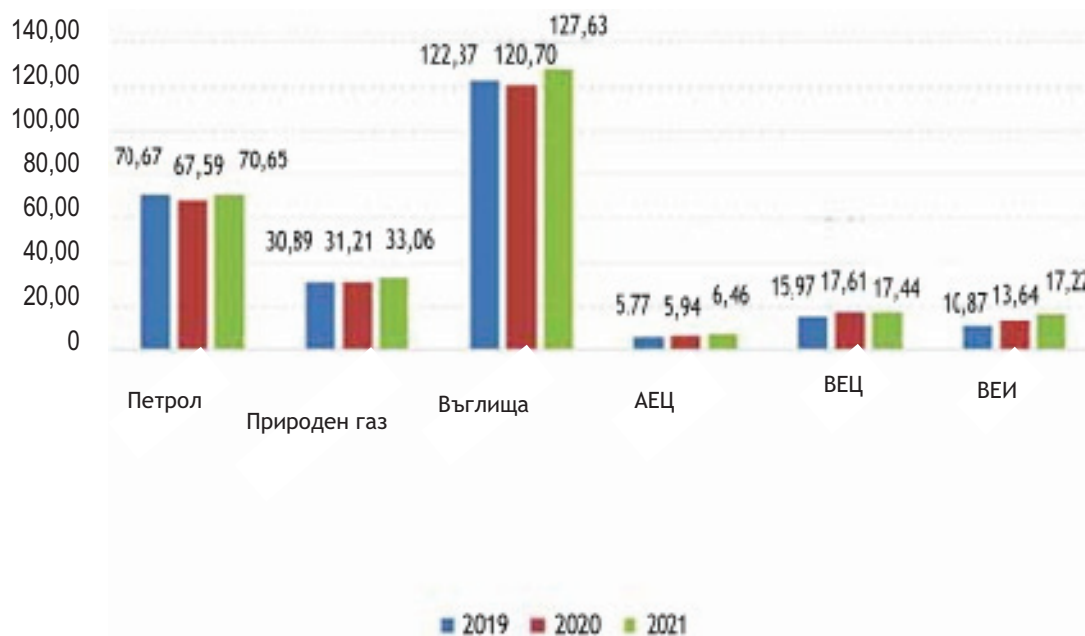
Структурата на производство на първична енергия в Африка се характеризира с три класически представителя - петрол, газ и въглища. Водноелектрическата енергия също има значителен дял.

Азия има своя уникална структура на производство и потребление на първична енергия, като въглищата са основния ресурс (фиг. 3).

Петролът е на второ място в структурата на потребление и производство, следван от природния газ. Производството на водноелектрическа енергия и възобновяема енергия са на четвърто и пето място. Така Азия е най-големият потребител в света на първична енергия, произведена от въглища, като превъзхожда всички останали страни по обем. Също така, до края на 2021 г. Азия е консумирала най-много първична енергия, произведена от петрол, водноелектрическа енергия и възобновяема енергия. Това се дължи на значителното население на региона, превишаващо други части на света, което налага производството на значителни обеми първична енергия.

Регионалните тенденции в потреблението на въглища показват, че въглищата в момента са важен източник на първична енергия за световната икономика. Обемите на потребление на въглища във всички региони не само са останали стабилни през 2021 г., но дори са се увеличили, което предполага разминаване между развитието на възобновяемата енергия и консумацията на въглища. Така, нововъведените в експлоатация мощности за възобновяема енергия покриват увеличението на потреблението на енергия в резултат на световния икономически растеж и потреблението на енергия на глава от населението.

Това се потвърждава от липсата на отрицателна корелация между динамиката на производството на енергия от въглища, нефт и газ и от възобновяеми източници (Табл. 1). Всъщност наблюдава се слаба положителна корелация между промените в динамиката на потреблението на различни ресурси за производство на енергия, което вероятно е свързано с растежа на населението в световен мащаб [1].



Фиг. 3. Първично енергийно потребление от източници в Азия, екзаджаули (по данни от BP*) URL: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2022-full-report.pdf?ysclid=m3ppejqasq618670017>

Тази хипотеза е тествана използвайки инструментите на корелационния анализ. За целта е извършен корелационен и регресионен анализ между данните за населението в световен мащаб и



обемите на водноелектрическа енергия, енергия от природен газ, нефт, традиционна биомаса и производство на енергия от възобновяеми енергийни източници.

Табл. 1. Сила на връзката (корелационни коефициенти) между населението на планетата и обема производство на енергия от различни източници

Показател		Период 1965÷2022 г.	Период 2000÷2022 г.
Коефициент на корелация м/у населението на планетата и обема производство на	енергия от ВЕЦ	1,00	0,99
	енергия от природен газ	0,99	1,00
	енергия от петрол	0,96	0,92
	енергия от въглища	0,78	0,95
	енергия от биомаса	0,76	-0,97
	енергия от БЕИ	0,78	0,95

Данните, представени в табл. 1, показват надеждна (силна корелация) връзка между потреблението на всички видове енергия и размера на населението в световен мащаб. Единственият енергиен източник, който показва обратна зависимост, е традиционната биомаса, което личи по отрицателния коефициент на корелация за периода 2000–2022 г.

Резултатите от извършения корелационен и регресионен анализ между данните за производство на енергия от възобновяеми енергийни източници, както и от други източници, и данните за производството на енергия от въглища са посочени в табл. 2.

Табл. 2. Връзка между обемите производство на енергия от възобновяеми източници и от въглища, нефт и природен газ

Разчетен период (за изчисляване на коефициента на корелация) – връзка между обемите производство на енергия от възобновяеми източници и други ресурси		1965-2022 г.	2000-2022 г.
Коефициент на корелация м/у обемите производство на енергия от БЕИ и	енергия от природен газ	0,76	0,95
	енергия от петрол	0,57	0,82
	енергия от въглища	0,79	0,68

От приведените данни в табл. 2. се вижда, че увеличението на производството на енергия от възобновяеми източници не води до съответстващ спад в производството на енергия от въглища.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

От резултатите на корелационния и регресионен анализ, представени в табл. 1. и табл. 2., се вижда, че растежът на производството на възобновяема енергия е свързан с нарастването на населението в световен мащаб и следователно с общия растеж на потреблението на енергия. Коефициентът на корелация между растежа на населението и производството на енергия от традиционна биомаса за периода 2000–2022 г. е отрицателен, което показва, че използването на традиционна биомаса намалява, отстъпвайки място на по-перспективни енергийни източници като петрол, газ, въглища, водноелектрическа енергия и възобновяема енергия.



През анализирания период не се наблюдава тенденция на спад в производството на въглища в резултат на замяната им с по-екологични горива, като възобновяеми енергийни източници и природен газ. Въглищата се използват широко като енергиен източник в енергийния сектор и потреблението им нараства в съответствие с потреблението на други енергийни източници, включително екологични. Ако растежът на световното население продължи със сегашните темпове, производството на електроенергия от въглища може да се увеличи от 44 854,04 TWh до 49 000-50 000 TWh.

Следователно, водещото за производителите на въглища не е да ограничават производството на въглища, както предполагат популярните прогнози, а постепенно да се подготвят за разширяването му, като се вземат предвид екологичните съображения. Потребителите на въглища, при условие че използват съвременни технологии, също не бива да се отказват от употребата им, тъй като въглищата ще запазят значителен дял от световния енергиен микс за дълго време напред.

Литература

1. Kurilov K.Yu. The role and future of coal in the global energy consumption structure. *Ugol'*. 2025; (3):108-113. (In russ.). doi: [10.18796/0041-5790-2025-3-108-113](https://doi.org/10.18796/0041-5790-2025-3-108-113)
2. Cui G., Lu S., Dong D., Zhao Y. Co-Benefits analysis of Coal de-Capacity in China. *Sustainability* (Switzerland). 2024;16 (1). <https://doi.org/10.3390/su16010115>.
3. Li Q. The view of technological innovation in coal industry under the vision of carbon neutralization. *International Journal of Coal Science and Technology*. 2021;8(6). <https://doi.org/10.1007/s40789-021-00458-w>.
4. Gallagher K.S., Bhandary R., Narassimhan E., Nguyen Q.T. Banking on coal? Drivers of demand for Chinese overseas investments in coal in Bangladesh, India, Indonesia and Vietnam. *Energy Research and Social Science*. 2021;(71). <https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101827>.
5. Gu B. Black gold and green BRI—a grounded analysis of Chinese investment in coal-fired power plants in Indonesia. *Extractive Industries and Society*. 2024;(17). <https://doi.org/10.1016/j.exis.2024.101411>.
6. Oskarsson P., Krishnan R., Lahiri-Dutt K. Living with coal in India: a temporal study of livelihood changes. *Extractive Industries and Society*. 2024;(17). <https://doi.org/10.1016/j.exis.2024.101437>.
7. Finkelman R.B., Wolfe a., Hendryx M.S. The future environmental and health impacts of coal. *Energy Geoscience*. 2021;2(2). <https://doi.org/10.1016/j.engeos.2020.11.001>
8. Bijańska J., Wodarski K. Hard coal production in Poland in the aspect of climate and energy policy of the European union and the war in Ukraine. *Investment case study. resources Policy*. 2024;(88). <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.104390>.
9. Biddau f., Rizzoli V., Sarrica M. Phasing-out 'coal tradition' in favour of 'renewable colonialism': how the press contributes to the discursive (de)legitimization of coal and renewables in a coal region in transition. *Sustainability Science*. 2024;19(2). <https://doi.org/10.1007/s11625-023-01420-2>.
10. Gasparotto J., da Boit Martinello K. Coal as an energy source and its impacts on human health. *Energy Geoscience*. 2021;2(2). <https://doi.org/10.1016/j.engeos.2020.07.003>.
11. Iglauer S., Akhondzadeh H., Abid h., Paluszny a., Keshavarz, a., Ali M., Giwelli a., Esteban I., Sarout J., & Lebedev M. (2022). Hydrogen flooding of a Coal Core: Effect on Coal Swelling. *geophysical research letters*, 49(6). <https://doi.org/10.1029/2021gl096873>
12. Zhou h., Bhattarai r., li y., Si B., Dong X., Wang t., yao Z. Towards sustainable coal industry: turning coal bottom ash into wealth. In *Science of the Total Environment*. 2022;(804). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149985>.
13. Goswami L., Ekblad A., Choudhury R., Bhattacharya S.S. Vermi-converted Tea Industry Coal Ash efficiently substitutes chemical fertilization for growth and yield of cabbage (*Brassica oleracea* var. capitata) in an alluvial soil: a field-based study on soil quality, nutrient translocation, and metal-risk remediation. *Science of the Total Environment*. 2024;(907). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168088>.
14. Surono U.B., Saptoadi H. Pellet combustion characteristics and emission of cocoa pod shell and coal blends. *Biomass Conversion and Biorefinery*. 2024;14(2). <https://doi.org/10.1007/s13399-022-02469-2>.



15. Liu y., Tan W., Liang S., Bi X., Su R., Pan X. Comparative study on the co-combustion behavior of torrefied biomass blended with different rank coals. Biomass Conversion and Biorefinery. 2024;14(1). <https://doi.org/10.1007/s13399-022-02368-6>.
16. Dai S., Finkelman R.B., French D., Hower J.C., Graham I.T., Zha F. Modes of occurrence of elements in coal: a critical evaluation. In Earth-Science Reviews. 2021;(222). <https://doi.org/10.1016/j.ear-scirev.2021.103815>.



БЪЛГАРИЯ КАТО ТРАНЗИТЕН КОРИДОР НА ПРИРОДЕН ГАЗ

Пламен Павлов
Българска газова асоциация

УВОД

Географското разположение на Република България, на границата на два континента, два икономически блока и две цивилизации предоставя редица изпитания и предимства, които българската държава в различна степен ползва или пропуска.

Влошените политическите и икономически отношения между ЕС и Руската федерация в началото на 20-те години се отразиха в най-голяма степен в енергийния отрасъл, респективно в доставките на нефт, нефтопродукти и природен газ.

Обвързаността на европейските икономики с достъпните преди конфликта в Украйна руски енергийни източници предизвика война за овладяването на транзитните коридори между двете враждуващи глобални сили.

Тези характеристики се мултиплицират в съвременното, динамично развиващото се общество и изменящите се геостратегически реалности.

Блоковото разделянето на света, в който България се оказва на границата на различни геостратегически интереси е сериозно изпитание пред политически елит и обществото и постигането на баланс в политическата ориентация гарантира икономическа независимост и просперитет.

Острата геополитическа конфронтация постави страната в центъра на транзитните енергийни коридори между Запада и Изтока.

Прекратяване на транзита на природен газ през Полша за европейските потребители, взривяването на газопроводите по трасето през Балтийско море „Северен поток 1 и 2“ за Германия, преустановяване транзита на природен газ през Украйна за Централна Европа превърнаха транзитът на природен газ през България за региона и Централна Европа в единствен работещ коридор.

В момента през България се транзитира природен газ от „Турски“ – (Балкански поток) България, с произход „Газпром Експорт“, от българско-гръцки интерконектор „ICBG“ Комотини – Стара Загора чрез ТАНАП и ТАП, с произход Азербайджан и вертикален коридор „Сидорокастро – Кула“, с произход LNG, регазифициран в приемен терминал на о. Ревитуса, с което България се явява единственото работещо трасе за пренос на природен газ, транспортиран по тръбен път до Балканския регион и Централна Европа.

ИСТОРИЧЕСКА СПРАВКА ЗА РАЗВИТИЕТО НА ГАЗОВИЯ ПАЗАР В ЕВРОПА И РЕГИОНА.

За първи път природен газ от Съветския съюз потича в Европа веднага след края на Втората световна война. От 1946 г. неголеми количества от суровината постъпват в Полша, а през 1950-те и към други съюзници на Москва от социалистическия лагер.

През 1960-те години с откриването и началото на усвояването на огромни находища като Уренгойското в Западен Сибир, ролята на СССР като газова държава рязко се увеличава. В западна посока потичат мрежи от тръбопроводи за страните от Варшавския договор.

През 1968 год. е подписан договор за доставка на 142 млн. куб. м газ природен газ от СССР за Австрия, а през 1969 Москва сключва договори за доставка на втечен природен газ за Италия и Франция.

През 1970 г. СССР и ФРГ сключват договора „газ – тръби“ получавайки газ западногерманските компании предоставят на СССР висококачествени стоманени тръби с голям диаметър (които в онова време в света произвеждат само немците и японците), от които се строят идващите от Сибир газопроводи.

През 1981 г. САЩ разгръщат газова война срещу СССР, като застават срещу строежа на газопровода „Уренгой – Помари – Ужгород“. Създаваният на основата на европейски кредити и от съветски специалисти газопровод трябва да се състои от две тръби с обща мощност от 60 млрд.



кубометра годишно.

Американците въвеждат ембарго на доставките на нефтогазовото им оборудване за СССР. Забраната се разпространява и на западноевропейското и японско оборудване, които използват американски технологии и компоненти. В крайна сметка Съветският съюз е принуден да приключи сам проекта, което е и направено през 1983 година. Но вместо две е построена само една тръба с мощност от 32 млрд. кубометра годишно.

Въпреки противодействието на Вашингтон, доставките на съветския природен газ за Европа за 20 години се увеличават 35 пъти. До края на 1980-те години вече 15% от общия втечен във Франция газ е от СССР, а в Германия достига 30%. Съветският съюз прави Европа зависима от своя газ, но едновременно с това ѝ подsigурява бурен икономически растеж.

В началото на 90-те години европейските лидери, подкрепени от САЩ, заработиха активно за диверсифициране доставките за европейските енергийни пазари, първият голям проект по пътя на енергийната независимост на ЕС бе осъществен през 2002 г. с петролопроводът Баку-Тбилиси-Джейхан (BTC), който пренася нефт от каспийско находище Азери-Чираг-Гунешли край бреговете на Азербайджан до средиземноморското пристанище Джейхан, се превърна в един от най-важните транспортни коридори на Европа. В него участват западни петролни компании, между които с най-голям дял е „Бритиш Петролиум“ с 30%.

Проектът е първият пробив в руския монопол на енергийни ресурси от Каспийския басейн, а след него започнаха преговорите и по друг транспортен енергиен коридор – „Набуко“ за пренасяне на природен газ от новооткритото находище „Шах Дениз“ в каспийския шелф на Азербайджан до газовото хранилище „Баумгартен“ в покрайнините на Виена. Общата дължина е 3 300 км. Тръбопроводът ще преминава през Турция, България, Румъния, Унгария и Австрия. След прекратяването на проекта „Набуко“, изпълнената първата част от Баку до Ерзурум (Турция) е става част от Трансанадолския газопровод ТАНАП.

През 2006 г. „Газпром“ предложи конкурентен проект с подобно трасе – „Южен поток“. Тръбопроводът изграден от „Газпром“ в сътрудничество с италианската „ЕНИ“ с проектен капацитет 63 млрд.м³ газ/год.

Работа по проекта трябва да започне тази година, а завършването му се очаква през 2015 г. Маршрутът започва от компресната станция „Береговая“, минава по дъното на Черно море и излиза на повърхността при Варна. От Варна тръбопроводът бе проектиран до Плевен, където „Южен поток“ се разделя на две части: едното разклонение тръгва в посока Гърция, а другото навлиза в Сърбия и от там през Унгария до „Баумгартен“, с разклонения за Хърватска, Словения и Босна и Херцеговина. На 18 януари 2008 г. в Швейцария се основава и акционерно дружество „Южен поток“, в което освен „ЕНИ“ и „Газпром“ се включиха френската компания „Електрисите де Франс“, австрийската „ОМВ“ и „РВЕ“.

Някои партньори в „Набуко“ се ориентираха към „Южен Поток“ поради прогнозата за не достатъчно количества газ от каспийския проект. Находището „Шах Дениз“ официално може да осигури 8 млрд. м³ за „Набуко“, а при работа на пълни обороти - до 12 млрд. годишно. Останалите 19 млрд. трябва да дойдат от алтернативни източници от Иран, Ирак, Туркменистан и Египет.

От тази гледна точка и поради заобикаляне на „Южен поток“ на Беларус и Украйна сценария се оказва приемлив и Проектът „Набуко“ бе замразен.

2009 г. в Сочи, газовите компании на Русия, Италия, България, Сърбия и Гърция подписват споразумение за изграждането на тръбопровода „Южен поток“. 2010 г. в София, е учредено съвместното дружество за „Южен поток“, което носи името „Южен поток България“ АД. Акционери в него са „Български енергиен холдинг“ ЕАД и „Газпром“, с по 50% от капитала, мястото на регистрация е България. Капиталът му е 15,6 млн. лева. Инвестиционното споразумение е подписано през 2012

След последвалата намеса на САЩ и приемането от ЕК на ограничения за изпълнението на газопровода, през декември 2014 г. „Газпром“ подписва меморандум с турската корпорация Botas Petroleum Pipeline Corporation за изменение на подводната част на трасето, което излиза на турска територия като „Турски поток“ и „Булгартрансгаз“ ЕАД изпълнява българска част на трасето по одобреното трасе на „Южен поток“.



ЕВРОПЕЙСКИ ГАЗОТРАНЗИТНИ КОРИДОРИ

Както разгледахме в историческата справка транзитирането на природния газ от находищата в Сибир и Кавказкия басейн се осъществяваха на няколко етапа и по няколко коридори.

ЯМАЛ - ЕВРОПА

Газопроводът „Ямал-Европа“ е с дължина 4107 километра, свързващ руските находища на природен газ на полуостров Ямал и Западен Сибир с Полша и Германия, през Беларус.

Газопроводът достигна номиналния си капацитет от около 33 милиарда кубически метра годишно (1,2 трилиона кубически фута годишно) природен газ през 2006 г., след завършването на всички компресорни станции. Общата стойност на изграждането на тръбопровода се оценява на 36 милиарда долара.

Участъкът на запад от газовия хъб Торжок включва около 402 километра в Русия, 575 километра в Беларус и 683 километра в Полша.

Газопроводът се захранва от североизток участъците Бованенково–Ухта, Ухта–Торжок и СРТО–Торжок, които са част от тръбопровода Ямал–Европа.

Германската газова система е свързана с тръбопровода Ямал–Европа чрез тръбопровода JAGAL Участъкът Бованенково–Ухта включва 72 километра (45 мили) подводен тръбопровод под залива Байдарацка в южната част на Карско море.

Западният участък на тръбопровода първоначално е захранван от газови находища в район Надим Пур Таз на Тюменска област, а после от проекта Ямал .

Разклонението SRTO–Торжок започва от Нови Уренгой , близо до развиващото се Уренгойско газово находище в рамките на Уренгойския газов находищен комплекс. Към 2020 г. газовите находища Ямал са произвеждали над 20% от руския газ, като се е очаквало към 2021 г. делът да се увеличи до 40% до 2030 г. [24]

Капацитетът на тръбопровода е 33 милиарда кубически метра (1,2 трилиона кубически фута) природен газ годишно. Диаметърът на тръбопровода е 1420 милиметра (56 инча). Налягането в тръбопровода се осигурява от 14 компресорни станции.

Собствеността на газопровода в Руската федерация и в Беларус е на „Газпром“, а в Полша на „EuRoPol Gaz SA“ притежавано от „PGNiG“ и „Газпром“ (50/50)

През май 2022 год. Полша преустанови приемането и транзитирането на природния газ по газопровода „Ямал – Европа“ (Русия – Беларус – Полша - Германия) за своята и немската икономики





ТРАНСИБИРСКИЯ ГАЗОПРОВОД

Транссибирският газопровод известен като Уренгой–Помари–Ужгород, е един от основните газопроводи за износ на Русия, частично собственост и управляван от Украйна.

Тръбопроводът преминава от газовото находище Уренгой в Сибир през компресорна инсталация в Помар, Марий Ел, до Ужгород, Западна Украйна. Оттам природният газ се транспортира до страните от Централна и Западна Европа. Заедно с тръбопровода „Союз“ (Оренбург - Западна граница) и тръбопровода „Прогрес“ (Ямбург - Западна граница), той формира западния транзитен коридор в Украйна. Преминава през възел в Суджа, Курска област, след което пресича руско-украинската граница северно от Суми. В Украйна той доставя газ до помпената станция Ужгород на украинската граница със Словакия и до по-малки помпени станции на унгарската и румънската граница. Тръбопроводът пресича Урал, Карпатите и повече от 600 реки, включително Об, Волга, Дон и Днепър.

Тръбопроводът е с дължина 4500 километра, от които 1160 километра в Украйна. Диаметърът му е 56 инча (1420 мм). Първоначалният годишен капацитет на тръбопровода е бил 32 милиарда кубически метра (1,1 трилиона кубически фута) природен газ годишно. До 2009 г. фактическият годишен капацитет е бил 27,9 милиарда кубически метра (990 милиарда кубически фута). Той има 42 компресорни станции, от които девет са в Украйна.

По Транссибирския газопровод са пренасяха 41,2 милиона кубически метра.

От 01.01.2025 год. Украйна преустанови приемането и транзитирането на природния газ по Транссибирския газопровод за Украйна, Молдова (1,5 – 2,5 млрд.), Румъния, Австрия (5 – 6 млрд.), Унгария (0,5 – 2 млрд.), Полша, Словакия (3 – 4 млрд.), Словения (0,5 – 1 млрд.), Чехия (0,5 – 1,2 млрд.) и Италия (0,5 – 2 млрд.).



СЕВЕРЕН ПОТОК

„Северен поток“ (Nord Stream) е магистрален газопровод, преминаващ по дъното на Балтийско море, транспортиращ газ от Русия до Германия (Виборг - Грайфсвалд). Притежател и оператор на газопровода е швейцарската компания Nord Stream AG.

Акционери в Nord Stream 1 AG са руската Gazprom International Project North LLC, с 51 % и



европейските Wintershall Dea AG – 15,5 %; PEC Infrastruktur AG (E.ON) – 15,5%; N.V. Nederlandse Gasunie – 9 %; ENGIE – 9 %, след изграждане на „Северен поток 1“, „Газпром Експорт“ финансира самостоятелно „Северен поток 2“, който не влезе в употреба, защото преди приключване на техническите процедури с взривяването на двете тръби на „Северен поток 1“, бе взривена едната тръба на „Северен поток 2“ и той така и не влезе в употреба.

„Северен поток“ може да пренася 55 млрд. m^3 газ годишно по двете си успоредни тръби. Газопроводът се захранва от Южноруското находище, чиито запаси се оценяват на около 800 млрд. m^3 . Стойността на проекта е 7,4 млрд. евро. Акционери в Nord Stream AG, която реализира проекта, са Газпром с 51%, по 15,5% имат немските E.ON и BASF, а холандската Gasunie и френската GDF Suez имат дялове по 9%.

Газопроводът „Северен поток“ е дълъг 1224 km. Външният диаметър на стоманените тръби е 1220 mm, вътрешният диаметър – 1153 mm, дебелина на тръбата – 27 до 41 mm, по вътрешната повърхност на тръбата е нанесен антифрикционен слой с дебелина 1 mm, външният слой на тръбопровода (бетонна риза) е с дебелина 60 до 110 mm; под бетонната риза има устойчив на корозия слой. Работно налягане – 220 бара, най-голямата дълбочина, през която минава газопроводът, е 210 m. На 26 септември 2022 г. в изключителните икономически зони на Дания и Швеция, североизточно от остров Борнхолме е предизвикан взрив и прекъсната херметичността на 3 от 4 - те тръби едновременно с което е преустановено газоподаването към Германия.

Руската страна съхрани херметичността до местата на разрушаване, докато немската страна допусна навлизане на морска вода, която корозира съоръжението до неизползваемост.

През август т.г. американския хедж фонд „Елиът Мениджмънт“ прояви интерес за поемане участието на



ТРАНСБАЛКАНСКИ ГАЗОПРОВОД

Газопроводът е построен през 70-те години на 20 век за подаване на природен газ в Балканския регион - Румъния, България, Гърция, Турция, Югославия, по 1000 km трасе с 4 компресорни станции за тласкане на газа от северните находища на СССР, Русия.

- 1974 г., потичат първите количества руски газ на българска територия
- 1988 г. – подадени са първите количества природен газ за Турция
- 1994 г. – подадени са първите количества природен газ за Гърция
- 1995 г. – подадени са първите количества природен газ за Северна Македония

През Трансбалканския газопровод страните от Балканския регион развиват химическа и металургична промишленост и топлофикация на големите населени места.

През 1992 год. по Трансбалканския газопровод са доставени за България 7,5 млрд. m^3 , за Турция са доставени 5 млрд. m^3 , за Гърция са доставени 1 млрд. m^3 , което е показателно за икономическото развитие на страните от югоизточната част на Балканите.



През януари 2009 г. Руската федерация, чрез „Газпром“, спря подаването на газ през Украйна за европейските потребители заради спор за цените и транзитните такси. Спирането на доставките доведе до сериозни последици за европейските държави, тъй като засягаше транзитната мрежа и ги остави без достатъчно газ за потребление. След продължителни и трудни преговори между двете страни, доставките бяха възстановени, но страните разработиха превантивни трасета и източници за ограничаване на зависимостта.



До 2009 год. ЕС обвързваше икономиките на страните членки приоритетно от руските доставки, ограничавайки своите проучвания и разработките на свои източници, което постави целия ЕС в зависимост от руските доставки, които въпреки, че бяха значително евтини, чрез участието в транзита на Украйна предизвикаха енергийната криза от 2009.

Европейските страни се насочиха към строеж на приемни LNG терминали за диверсификация на доставките, а Руската Федерация потърси алтернативни трасета, извън Украйна, чрез строежа на „Северен поток“ и „Балкански поток“

ЮЖЕН ПОТОК

През 2006 г. руският Газпром и италианската компания „Eni“ влизат в споразумение за стратегическо партньорство за доставка на руски газ директно на италианския пазар, като се започне от 2007 г. По силата на споразумението съществуващите договори за доставките на руски газ за Италия са удължени до 2035 г.

На 23 юни 2007 г. в Рим е подписан Меморандум за разбирателство за изпълнението на проекта „Южен поток“. Меморандумът определя областите на сътрудничество между двете компании при проектирането, финансирането, изграждането и управлението на газопровода. На 22 ноември 2007 г. Газпром и „Eni“ подписват в Москва споразумение за създаване на съвместна компания за провеждане на маркетингови проучвания и за техническата осъществимост на проекта. Предвижда се да се транспортират 63 млрд. m³ природен газ годишно.

На 18 януари 2008 г. България и Русия подписват междуправителствено споразумение за сътрудничество при изграждането на газопровода „Южен поток“ през територията на България.

Споразумението е ратифицирано от българския парламент на 25 юли 2008 г. Компанията, която



ще изгражда и управлява газопровода на българска територия, ще се регистрира в България и ще е с 50% участие на България. Между 250 и 400 млн. долара годишно може да печели България от транзитни такси (при пренос на 30 млрд. $\text{m}^3/\text{год.}$, предвижда се разширяване на капацитета до 60 млрд. m^3 г.)

Южен поток бе проектиран за магистрален газопровод, преминаващ по дъното на Черно море, транспортиращ газ от Русия до България (Варна). Притежател и оператор на газопровода е смесената компания South Stream Transport B.V.

Акционери в South Stream Transport B.V. са руската Gazprom LLC, с 50 % и европейските Eni S.p.A. – 20 %; Electricite de France – 15 %; N.V. Wintershall Holding GmbH (BASF) – 15 %,

За оператор на газопровода през България бе учредено дружеството „Южен поток България“ АД, с акционери „БЕХ“ ЕАД – 50 % и „Газпром Трансгаз Краснодар“ ООО – 50 %

На 15 май 2009 г. в Сочи газовите компании на Русия, Италия, България, Сърбия и Гърция подписват споразумение за изграждането на тръбопровода „Южен поток“, подписван е протокол за маршрут на газопровода през турски териториални води и споразумение за условията, при които част от газопровода ще преминава през Словения до Северна Италия.



Строежът на Южен поток стартира през 2012 год., но поради намеса на ЕК и САЩ през 2014 год. проектът е спрял и заменен с проект „Турски поток“, който променя морската част на трасето, от България в Турция, при запазване на сухоземното трасе.

ХАРАКТЕРИСТИКИ НА НАЦИОНАЛНАТА ГАЗОПРЕНОСНА МРЕЖА

Българската газопреносна мрежа е с ДЪЛЖИНА от 3276 км тръбопроводи, 11 компресорни станции, 240 вътрешни изходни точки.

ПОДЗЕМНО ГАЗОХРАНИЛИЩЕ ЧИРЕН

Използването на природен газ в България започва през 1963 г. с откриването на газово находище край с. Чирен в северозападната част на страната. Находището е с ограничени ресурси и се използва само за нуждите на два завода – циментов и химически.

През 1974 г. находището край с. Чирен е реконструирано в подземно газово хранилище. ПГХ Чирен, EIC 21W00000000031C, 24 експлоатационни сондажи, 1 компресорна станция.

Капацитетът за съхранение е 558 151 000 млн. m^3 , капацитетът за добив е 507 900 $\text{m}^3/\text{ден}$, капацитетът за нагнетяване е 511 900 $\text{m}^3/\text{ден}$, максимален капацитет за добив в аварийна ситуация до 4 766 000 $\text{m}^3/\text{ден}$ при пълно газово хранилище - за период от време максимум до 30 дни



ТРАНСГРАНИЧНИ ВХОДНО-ИЗХОДНИ ТОЧКИ:

Негру вода 1/Кардам – EIC 21Z000000000159I - Входно-изходна точка на междусистемно свързване между мрежите на „Булгартрансгаз“ ЕАД и STNG TRANSGAZSA, Румъния

Негру вода 2,3/Кардам – EIC 21Z000000000160X - Входна точка на междусистемно свързване между мрежите на „Булгартрансгаз“ ЕАД и STNG TRANSGAZ SA, Румъния

Кулата/Сидирокастро – EIC 21Z000000000020C - Входно-изходна точка на междусистемно свързване между мрежите на „Булгартрансгаз“ ЕАД и DESFA SA, Гърция

Русе/Гюргево – EIC 21Z0000000002798 - Входно-изходна точка на междусистемно свързване между мрежите на „Булгартрансгаз“ ЕАД и STNG TRANSGAZ SA, Румъния

Странджа/Малкочлар – EIC 21Z000000000157M - Изходна точка на свързване между мрежите на „Булгартрансгаз“ ЕАД и BOTAS, Турция

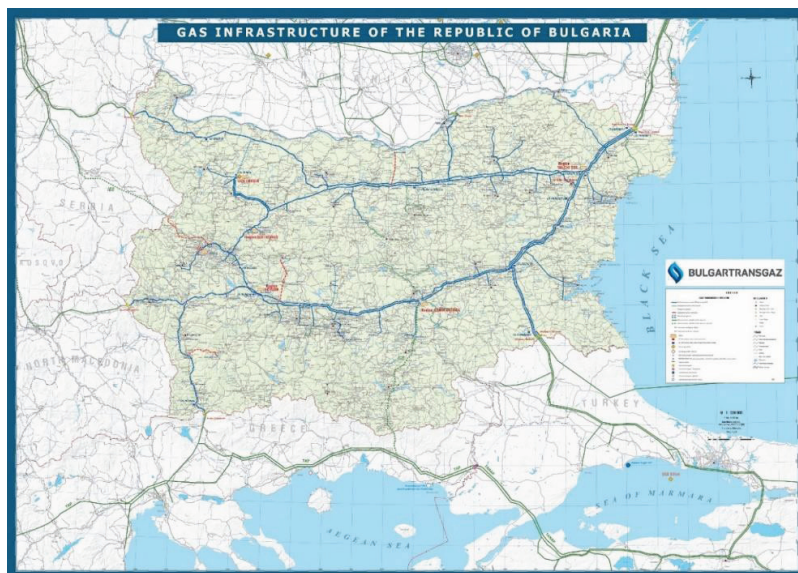
Странджа 2/Малкочлар – EIC 58Z-00000015-S2M - Входна точка на свързване между мрежите на „Булгартрансгаз“ ЕАД и TAGTAS, Турция

Киреево/Зайчар – EIC 58Z-000000007-KZ - Входно-изходна точка на свързване между мрежите на „Булгартрансгаз“ ЕАД и GASTRANS, Сърбия

Калотина/Димитровград – EIC 58Z-000000012-KD - Входно-изходна точка на свързване между мрежите на „Булгартрансгаз“ ЕАД и TRANSPORTGAS SRBIJA, Сърбия

Кюстендил/Жидилово – EIC 21Z000000000137S - Изходна точка на свързване между мрежите на „Булгартрансгаз“ ЕАД и NOMAGAS, Северна Македония

Стара Загора - EIC 58Z-IP-00034-STZ - Входно-изходна точка на свързване между мрежите на „Булгартрансгаз“ ЕАД и ICGB



БАЛКАНСКИ ПОТОК

„Балкански поток“ е газопровод на територията на България, позволяващ пренос на природен газ от Турция към Сърбия. Проектът е продължение на „Турски поток“ и включва полагането на около 480 km тръби с диаметър 1200 mm, както и изграждането на две нови компресорни станции („Нова Провадия“ и „Расово“) и една нова измервателна станция. Прогнозната цена на проекта е 1415 млн. евро. С изграждането му ще се осъществи за първи път връзка между българската и сръбската газопрепосна мрежа. Капацитетът към Сърбия ще бъде 13 млрд. m³ годишно, а новият капацитет от Турция ще бъде 17,93 млрд. m³ годишно! Проектът се осъществява от Булгартрансгаз. Газопроводът е открит на 1 януари 2021г. в присъствието на сръбския президент Александър Вучич. На 1 януари 2020г. Русия започва да доставя газ директно до Турция и спира доставките през Украйна и Транс-балканския газопровод (свързващ Украинската газова система с Турската през Румъния и България). България се отказва от 1,3 млрд. лв. гарантирани приходи от транзитен пренос на газ по старото трасе от Румъния към Турция.



Линейната част, или самата тръба от границата с Турция до границата със Сърбия – проектирането и изграждането на тръбата с дължина 474 км струва 2,15 милиарда лева без ДДС. Договорът за изграждане на тръбата е сключен между държавната газопреносна компания „Булгартрансгаз“ и саудитската „Аркад“ с подизпълнители от Русия и Беларус.

Проектът е финансиран с руски средства, дадени като кредит на „Булгартрансгаз“, тръбите са доставени от руския завод ТМК, а над 2000 строителни работници са командировани от Русия и Беларус..

Общият капацитет на Турски поток е 31,5 млрд. м³/год. Проектът се състои от две успоредни тръби по дъното на Черно море от 930 км., които излизат до с. Къйкъкой.

Наземното трасе на двете тръби преминава по турска територия, от с. Къйкъкой до турско - българска граница – 142 км, от българско – турска граница до КС „Странджа 1 и 2“ – 17 км

От турско българска граница двете тръби от 17 км доставят природен газ до КС „Странджа 1“ и КС „Странджа 2“.

От КС „Странджа 1“ приетия природен газ от 15,75 млн. м³/год. се присъединява към едната тръба на Трансбалканския газопровод по направление към Турция, по трасе от 11 км до българско – турска граница, след преминаване на територията на Турция газът се постъпва на 4 км от границата в КС „Малкочлар“, където се осъществява предаването на газа от „Газпром Експорт“ на турския газов оператор БОТАШ.

Газът от КС „Странджа 2“ от 15,75 млрд. м³ се предава от „Газпром Експорт“ на „Булгартрансгаз“ за транзитиране по системата на националния газов оператор



Трасе на Турски (Балкански поток)

Приетият газ от „Булгартрансгаз“ по „Балкански поток“ се транзитира от КС „Странджа 2“ по новоизградения байпас от 57 км до КС Лозенец, където се разпределя за националната газопреносна мрежа за България и транзитната мрежа за Гърция, Северна Македония, Сърбия, Унгрия и транзитно свързаните потребители с ЦЕГХ Баумгартен, в Австрия, Румъния и свързаните потребители по реверсивното трасе на Трансбалканския газопровод Молдова и Украйна.

За транзитиране на газа до предаването му на КС Киреево – КС Зайчар, Сърбия са изградени две нови КС „Расово“ и КС „Нова Провадия“

Чрез газотранзитната система на „Булгаргаз“ газът от т.н. „Турски поток“ се разпределя към



всички съседни балкански страни и свързаните с ЦЕГХ страни от Централна Европа, чрез интегрирането с българската газопреносна система газът от „Турски поток“ се подава към всички потребители на природен газ в страната.

МЕЖДУСИСТЕМНА ГАЗОВА ВРЪЗКА ГЪРЦИЯ - БЪЛГАРИЯ (IGB)

Междусистемната газова връзка Гърция - България (IGB) свързва гръцката газопреносна мрежа и Трансадриатическия газопровод (TAP) в близост до Комотини с българската газопреносна мрежа при Стара Загора.

Инвеститор и оператор в газовия интерконектор е Дружеството „Ай Си Джи Би“ АД, в което акционери с равни дялове са „Български енергиен холдинг“ ЕАД (50%) и „IGI Poseidon“ S.A. (50%). Акционери с равни дялове в „IGI Poseidon“ са гръцката „ДЕПА“ и италианската „Едисон“ С.п.А

Интерконекторът е с обща дължина от 182 км и технически капацитет от 3 млрд. м³ годишно, с потенциал за увеличаване на преносния капацитет до 5 млрд. м³ годишно.

Основна стратегическа цел на IGB е да осигури енергийна диверсификация както по отношение на маршрутите, така и по отношение на източниците на природен газ за България и региона.

IGB е част от Южния газов коридор, за доставка на природен газ чрез TANAP (Трансанадолски газопровод) TAP (Трансадриатически газопровод) от Каспийския регион и за регазифициран природен газ от приемния LNG терминал в Александруполис, Гърция.



Проектът е част от инициативата за свързаност на газопреносната система в Централна, Източна и Югоизточна Европа (CESEC), като проект от общ интерес на ЕС (PCI list)

На 1 октомври 2022 г., газовата връзка е въведена в търговска експлоатация.

От IGB „Булгаргаз“ приема от СОКАР 1 млрд. м³/ годишно природен газ, формирани по референтна цена, спрямо цената на нефтопродуктите, за разлика от европейските газови пазари, формиращи цените, спрямо пазарната цена на водещи европейски газови хъбове – холандския TTF и австрийския CEGH.

През IGB дъщерната компания СОКАР Трейдинг Газ енд Пауър САРЛ, в България извършва доставки по краткосрочни договори за потребители на природен газ в България, Румъния и Молдова.

ВЕРТИКАЛЕН ГАЗОВ КОРИДОР

МЕЖДУСИСТЕМНА ГАЗОВА ВРЪЗКА БЪЛГАРИЯ - ГЪРЦИЯ

Исходна точка на междусистемната газова връзка между България – Гърция в района Кулата –

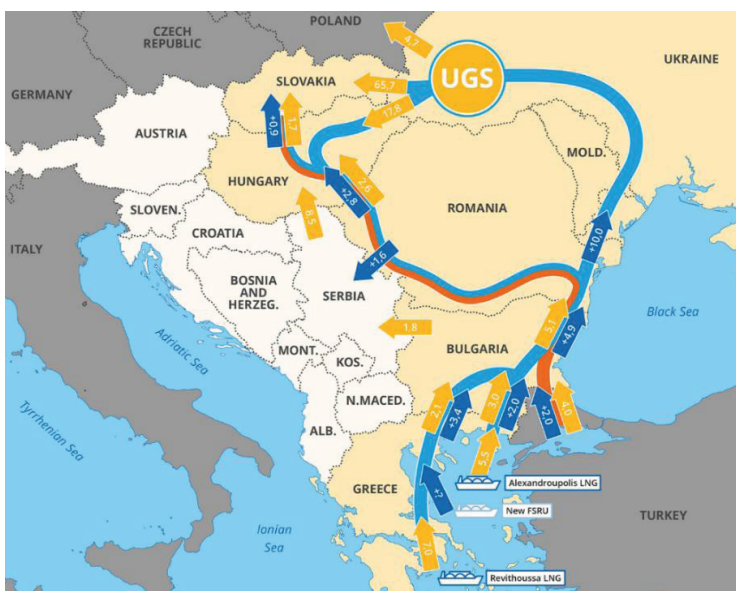


Сидорокастро, е собственост на „Булгартрансгаз“.

Интерконекторът е изграден през 80-те години за доставка на природен газ по Трансбалканския газопровод, с капацитет от 3 до 6 млрд. м³/год. за гръцката страна.

През 2024 год. интерконекторът е включен в инициативата Вертикален газов коридор за свързаност на газопреносната система в Централна, Източна и Югоизточна Европа (CESEC), като проект от общ интерес на ЕС (PCI list) за пренос на регазифициран втечен газ от Гърция към Румъния и после до Унгария, Словакия, Молдова и Украйна.

Трасето е лупинг (байпас) на газопровода от Перник до Кулата, като се изграждат три участъка с реверсивна посока Кулата - Кресна, Рупча - Ветрино, Пиперево - Перник.



МЕЖДУСИСТЕМНА ГАЗОВА ВРЪЗКА БЪЛГАРИЯ - РУМЪНИЯ

Междусистемната връзка с Румъния IBR (Русе – Гюргево), ще свързва националните газопреносни мрежи на България и Румъния, с обща дължина 23.8 км, от които 15.4 км на българска територия, 7.2 км на румънска територия и 1.2 км подводен преход през р. Дунав, и максимален капацитет 1,5 млрд. куб.м годишно. Проектът изисква и изграждането на две газоизмервателни станции (Русе – Гюргево).

1.5 млрд. куб. м годишно към Румъния, 0.5 млрд. куб. м годишно към БГ.

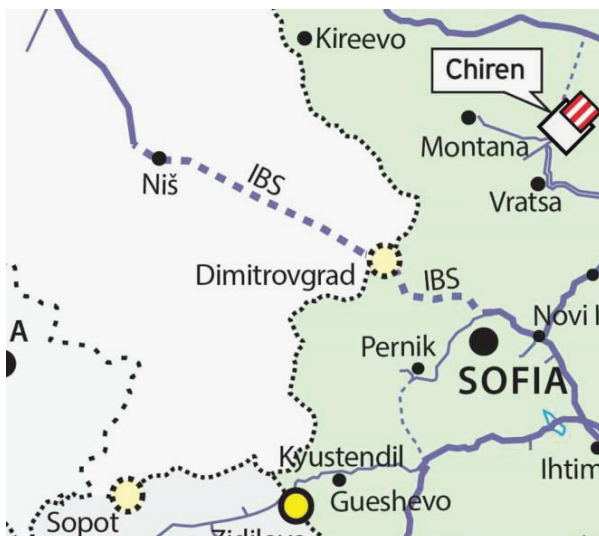




МЕЖДУСИСТЕМНА ГАЗОВА ВРЪЗКА БЪЛГАРИЯ - СЪРБИЯ

Газовата междусистемна връзка България-Сърбия (IBS) е реверсивна, свързваща националните газопрееносни мрежи на Република България и Република Сърбия.

Газопровода е с обща дължина около 170 км от гр. Нови Искър, Република България до гр. Ниш, Република Сърбия, от които около 62 км на българска територия, диаметърът на тръбата е 28", с работното налягане 55 бара. Газовата връзка е с пропускателен капацитет от 1,8 млрд. м³/г. реверсивен поток. Трасето на преносния газопровод има отклонения за Сливница и Драгоман.



МЕЖДУСИСТЕМНА ГАЗОВА ВРЪЗКА БЪЛГАРИЯ – СЕВЕРНА МАКЕДОНИЯ

Газовата междусистемна връзка България Северна Македония, свързваща националните газопрееносни мрежи на Република България и Република Северна Македония.

Точката за междусистемно свързване Кюстендил/Жидилово е с техническия капацитет за пренос на газ към Северна Македония от 600 млн. куб. м. дневно. Годишното потребление на страната е около 300 млн. куб. м..

ПРОУЧВАНЕ И ДОБИВ НА ПРИРОДЕН ГАЗ НА ТЕРИТОРИЯТА НА БЪЛГАРИЯ

Изследванията за нефт и газ в България започват през петдесетте години на двадесети век, покрай интереса както от местни, така и от чуждестранни инвеститори. Първо търсене е направено въз основа на природни изтичания на нефт и газ, които са наблюдавани в различни райони на страната, особено в североизточната ѝ част.

Първото газо-нефтено находище е открито през 1951 г. в пределите на Приморска Добруджа край с. Тюленово. В следващите години на територията на НРБ са открити още 4 нефтени и 11 газови находища, като от тях 3 нефтени и 2 газови находища имат промишлени залежи.

Тюленовското газо-нефтено находище във Варненската падина на дълбочина 340 – 390 м намира се от Шабленското езеро до Черно море, до момента от това находище са добити около 3,5 милиона тона нефт. Резервите, които се съдържат в него и могат да бъдат добити в бъдеще, се оценяват на около 0.5 милиона тона, с ниска икономическата рентабилност, поради настоящите цени на петрола.

Долнодъбнишкото нефтено находище е открито през 1962 г. и е разположено на 15 км западно от Плевен на дълбочина от 3300 м. Нефтът е лек с плътност 0.814 г/см³ и е главно метанов, но има и нефтено-ароматни въглеводороди.

Горнодъбнишкият нефтен залеж е разположен е на дълбочина – 3370-3400 м до 4280 м. Нефтът е съставен от метаново-нафтенови въглеводороди, със слабо повишаване на нафтеновите съставки.

Чиренското газо-кондензатно находище е открито през 1961 г. край с. Чирен, на 15 км северно



от Враца. Намира се на дълбочина 1700-1800 м.

Газът се състои от 72% метан, 25% висши въглеводородни газове и малко азот и въглероден диоксид. Кондензатът е съставен от ароматни нефтенови и метанови въглеводороди.

До 1974 г. находището е изтощено и трансформирано в газово хранилище с капацитет на активен газ около 550 млн. м³/годишно, като се предвижда да бъде разширено до 1 млрд. м³. За времето на експлоатацията на находището са добити общо 2,8 млрд. м³ природен газ и 76 200 м³ газов кондензат. На територията на страната са открити и някои полупромишлени и непромишлени залежи.

Такъв е открит в Северозападна България край Козлодуй, където на дълбочина от ок. 3800 м е получен слаб приток на лек тип нефт с плътност 0.8499 г/см³, аналогичен на долнодъбнишкия.

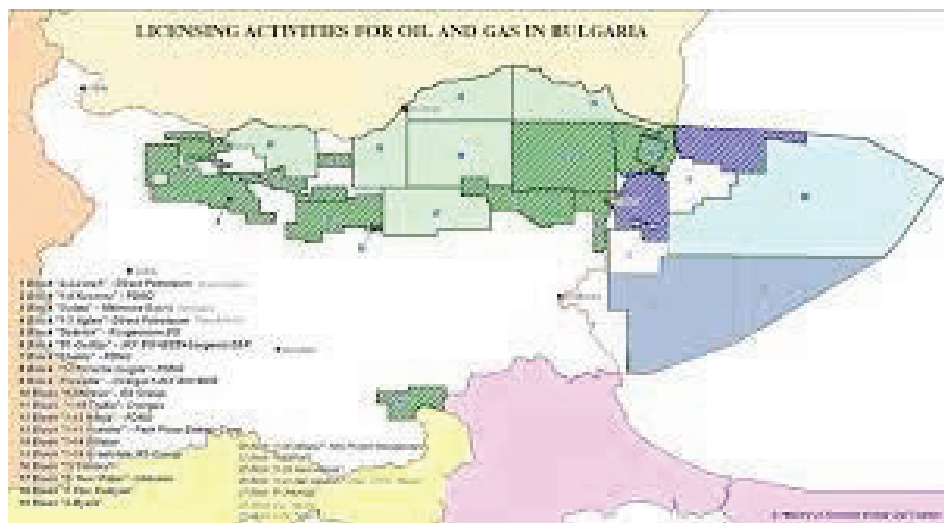
Друг непромишлен газокондензатен залеж е открит край с. Голямо Пещене (обл. Враца) на дълбочина от 2980 м, където е получен слаб приток на почти сух газ с 91-93% метан и 3-4% висши въглеводородни газове.

Такъв залеж е открит и край Бели Извор, отново в обл. Враца, на дълбочина от 2700 м. Съставът на газа е 84% метан, 7% етан, 3% азот, 3% пропан, 1% бутан и др. В същия район има непромишлено натрупване и на нефт. Слаб приток е получен на дълбочина 518-559 м, нефтът е беден на нискокипящи компоненти. Дестилатите му до 200°C са 22%, той е смолист, ниско сернист (0.175%) с плътност 0.858 г/см³.

Аналогични нефтени прояви се наблюдават и при селата Стояново и Лиляче, а находища при селата Кошава и Гомотинци (Видинско) съдържат непромишлени акумулации предимно от сух метанов газ.

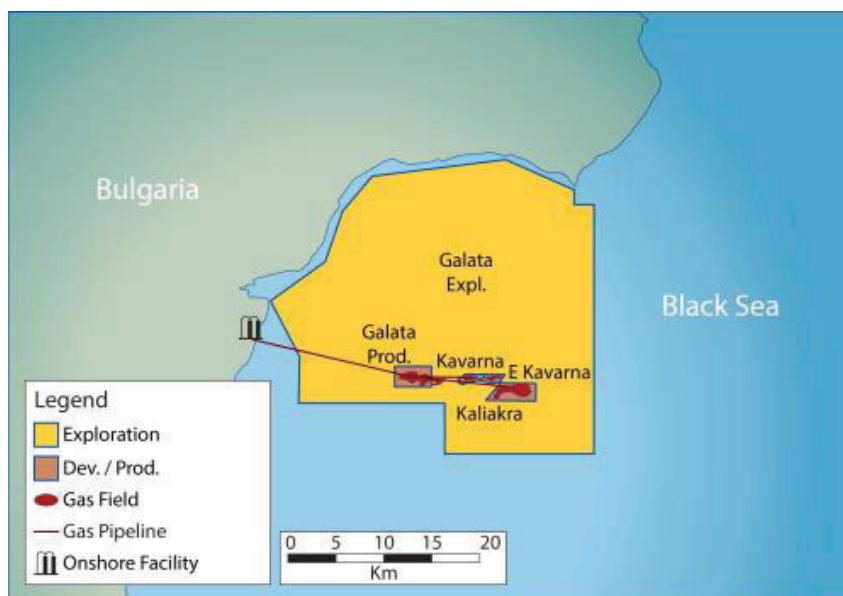
Известни газови и нефтени проявления са констатирани и в сондажите при селата Дебнево и Умаревци, обл. Ловеч, като подземните структури, които ги съдържат продължават и към районите на Севлиево и Велико Търново.

Известни газови и нефтени прояви се наблюдават и в Североизточна България около Омуртаг, Велики Преслав, Варненската падина и причерноморска Добруджа.



Газово находище Галата се състои от находища „Калиакра“, „Каварна“ и „Каварна – изток“ с общ капацитет около 3 млрд. куб. метра природен газ.

Находище „Галата“ в българския шelf на Черно море е открито през 1994 год., на около 20 км. източно от гр.Варна, През 2001 год. на лицензианта Мелроуз рisorсиз е предоставена концесия за разработка и добив на природен газ от находище „Галата“



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Българската газотранзитна система разполага с развита инфраструктура, позволяваща доставка на природен газ по тръбната инфраструктура от находищата от Руската федерация, от Азербайджан, от Иран, през Турската газопреносна мрежа, доставка на природен газ чрез регазификация на втечнен природен газ от приемните терминали в Турция и Гърция.

Българската газотранзитна система разполага с междусистемни връзки с всички свои балкански съседи и газова свързаност с източно и централно европейските страни.

Българската газотранзитна система има капацитет за пренос на природен газ от потенциални газови находища в териториалната и морска акватория.

Българската газотранзитна система има капацитет за устойчиви доставки на природен газ за националната икономика и битови потребители.

Българската газотранзитна система е готова за пренос на природен газ до всички задгранични и национални потребители от всички национални и транснационални доставчици в региона.



BIOREMEDIATION OF MINING WASTEWATER THROUGH BIOELECTROCHEMICAL SYSTEMS

Kaloyan Nikolov, Petia Genova, Rosen Ivanov, Sotir Plochev

Department of „Engineering geocology“, University of Mining and Geology „St. Ivan Rilski“, Sofia
1700, Bulgaria, E-mail: nikolovkaloyan0@gmail.com

ABSTRACT

Bioelectrochemical systems (BESs) represent a transformative opportunity for environmental protection and more specifically for treatment of waters influenced by and mining extractive industry. BES innovative technologies use the metabolic activity of microorganisms to drive electrochemical reactions. Unlike conventional treatment systems at which formed waste products are considered as a burden, BES turn them into an energy and resource source.

Key words: bioelectrochemical systems, bioremediation, green technology, acid mine drainage

Introduction

Wastewater influenced by mining and extracting industry pose a major environmental concern in both active and abandoned mining areas. The presence of sulfide minerals is decisive for the production of acid and thus forming acid mine drainages (AMD) due to the oxidation of the ore mass when it comes upon exposure to air, water, and chemolithotrophic acidophilic bacteria. The oxidation of sulfide minerals, mainly pyrite (FeS_2), but also chalcopyrite (CuFeS_2), sphalerite (ZnS), galena (PbS), arsenopyrite (FeAsS), cinnabar (HgS), etc., leads to the generation of waters that are acidic, with a high content of sulfates, Fe, Mn, Al, Cu, Zn, Pb and other toxic elements. Mine wastes (including materials from open-pit and underground operations, waste rock, and tailings) are also significant sources of such waters (Favas et al., 2018). Conventional treatment technologies for such effluents typically rely on the use of neutralizing reagents to induce the precipitation of heavy metals and metalloids in the form of hydroxides, carbonates, or sulfides. In addition to these chemical methods, various alternative and advanced approaches have been explored, including bioremediation, phytoremediation, electrodialysis, reverse osmosis, ultrafiltration, adsorption, and passive treatment systems (Rambabu et al., 2020). Despite the extensive range of available technological solutions, many remain economically unfeasible due to high operational and maintenance costs, while others generate considerable quantities of sludge and secondary waste streams that require additional treatment and disposal.

Anaerobic bioremediation with sulphate-reducing bacteria (SRB) is a promising strategy for AMD treatment, as sulfate is reduced to sulfide, which precipitates heavy metals and facilitates their removal from contaminated wastewater. Despite the promising outcomes observed to date, several challenges persist in the application of this approach - the maintenance of optimal operational conditions, effective management of hydrogen sulfide toxicity, and the economic feasibility of large-scale deployment (Timmers et al., 2018; Zhou et al., 2022). In addition, despite the high sulfate content of AMD, the low pH values and significant concentrations of heavy metals are not favorable for the activity of sulfate-reducing bacteria (Sheoran et al., 2010; Liang et al., 2013). These limitations could be crossed by optimizing SRB through genetic approaches, coupling bioremediation with complementary technologies and establishing cost-effective and sustainable approaches for wastewater remediation (Mafane et al., 2025).

Bioelectrochemical systems (BESs) represent a transformative opportunity for environmental protection and treatment of waters impacted by mining (Blázquez et al., 2019). BES innovative technologies use the metabolic activity of microorganisms to drive electrochemical reactions. Unlike conventional treatment systems at which formed waste products are considered as a burden, BES turn them into an energy and resource source.

BES types

There are several types of BES, each designed for specific applications such as wastewater treatment, energy recovery or resource recovery. Generally, BE systems could be classified into two main categories



based on the type of catalyst employed (Zheng et al., 2020). The first includes devices utilizing microorganisms as catalysts, while the second relies on enzymes to drive the reactions (Table 1).

Table 1. Classification of bioelectrochemical systems based on the type of catalyst used

BES	Operational mode
Microorganisms as catalysts	
Microbial Fuel Cell (MFC)	Electricity generation through use of electroactive microorganisms - electrogenic microorganisms oxidize organic matter at the anode, releasing electrons and protons. Electrons travel through an external circuit to the cathode, producing current; protons – through a membrane. In the cathode reduction reaction occurs among the electrons, electron acceptor (such as oxygen) and protons producing H ₂ O
Microbial Electrolysis Cell (MEC)	Hydrogen production and water electrolysis with additional application of voltage to enable the reduction of products at the cathode with potentially higher energy yield. Electrons and protons recombine at the cathode to form hydrogen gas or other reduced products.
Microbial Desalination Cell (MDC)	Water desalination and energy production; separation of the microbial processes and the flow of the treated waters into separate volumes, incorporation of an additional desalination chamber between the anode and cathode.
Microbial Electrosynthesis (MES)	Chemical biosynthesis with external electricity applied via electro-active microorganisms using electrons supplied by a cathode to reduce CO ₂ and convert it into valuable organic compounds, such as methane, acetate, or other chemicals.
Microbial solar cells (MSCs)	Use of photoautotrophic microbes or higher plants to entrap and convert solar energy into electricity or products through photosynthesis alongside environmental remediation.
Plant-Microbial Fuel Cell (P-MFC)	Energy production in plant-associated systems, conversion of solar energy into electricity using a symbiotic relationship between plants and soil rhizospheric bacteria.
Enzymes as catalysts	
Enzymatic Fuel Cell (EFC)	Electricity generation through the use of purified enzymes to catalyze anodic and cathodic reactions instead of traditional metal-based catalysts.
Enzymatic Bioelectrosynthesis (E-BES)	Chemical biosynthesis via enzymes for target chemicals production - extracellular electron transfer mechanisms to enhance cellular metabolic processes.
Hybrid Enzymatic-Microbial Systems	Combination of microorganisms and enzymes for enhanced activity and stability.

BES perspectives for environmental protection

Bioelectrochemical systems (BESs) have been demonstrated to effectively remove both organic and inorganic pollutants from wastewater (Mohan et al., 2018). Their development has been driven by the growing need for sustainable solutions to environmental challenges such as water pollution, energy scarcity, and greenhouse gas emissions. The core process involves the transfer of electrons released from the oxidation of an organic electron donor which instead of being transferred to conventional natural electron acceptors (such as oxygen, sulfates, ferric ions, or nitrates,) are directed toward an insoluble anode within a BES. The process is mediated by diverse electroactive microbial communities, including mixed microbial consortia isolated from natural environments (Kumar et al., 2015).

Bioelectrochemical systems (BES) offer significant environmental advantages, particularly in the wastewater treatment, resource recovery, and greenhouse gas mitigation. Unlike traditional treatment methods, which are often energy-consuming, BES technologies such as microbial fuel cells (MFCs) and microbial electrolysis cells (MECs) can convert organic pollutants directly into electricity or produce hydrogen and other fuels. These processes not only facilitate effective waste treatment but also contribute to energy recovery, thereby reducing operational costs and enhancing sustainability in wastewater management (Jalili et al., 2024). Furthermore, BES play an arising role in resource recovery, aligning with circular economy principles. These systems enable the extraction of valuable resources from wastewaters, including nutrients like nitrogen and phosphorus from municipal wastewaters, metals from industrial and mining effluents, and value-added chemicals such as acetate and ethanol through microbial electrosynthesis (MES). By transforming wastewater into a source of reusable materials, BES support sustainable resource management



and contribute to the reduction of environmental pollution (Li et al., 2025). BES also are considered as an innovative greenhouse gas mitigation strategy. By replacing energy-intensive aeration processes used in conventional treatment systems, BES reduce associated carbon emissions. Moreover, certain BES configurations facilitate the conversion of CO₂ into organic compounds, contributing to carbon capture and utilization efforts. These systems also produce less sludge compared to traditional activated sludge processes, thereby reducing disposal requirements and associated environmental impacts (Aulenta et al., 2025). Other well-known and widely applied, and commercially available applications of BES, is their use as biosensors (Adeloju, 2024). Typically, these devices are developed by combining biological recognition elements such as enzymes, DNA, antibodies or antigens, microorganisms and whole cells with electrochemical transducers, enabling highly sensitive and selective detection of a broad range of organic and inorganic analytes.

Factors Influencing the Performance of Bioelectrochemical Systems (BES)

In recent years, multiple research teams have focused on optimizing the operational performance of various types of BES – biological, electrochemical, operational, and environmental factors affecting (Angelov et al., 2013; Brewster et al., 2018; Hemalatha et al., 2020; Finkelstein et al., 2022). These factors collectively determine the efficiency of microbial electron transfer, the extent of electricity generation or consumption, and the effectiveness of contaminant removal (Logan et al., 2019; Rabaey and Rozendal, 2010).

Biological Factors

The biological composition and activity of the microbial community play a huge role in BES performance. The presence of electrogenic or electrotrophic microorganisms such as *Geobacter* and *Shewanella* species facilitates efficient extracellular electron transfer and enhances system stability (Shi et al., 2016). Use of electroautotrophic sulfate reducing bacteria as biocatalysts has been successfully demonstrated in SRM-based BES technologies (Agostino and Rosenbaum, 2018). The formation of dense and well-adhered biofilms on electrode surfaces improves electron transport pathways, leading to higher current densities and greater substrate utilization. On the other hand, the substrate characteristics (type, concentration, and biodegradability) strongly influence microbial metabolism and energy recovery efficiency. Anaerobic metabolic pathways typically favor electron donation to anodes, whereas aerobic conditions may limit electron availability due to competing oxygen reduction reactions. Additionally, the presence of toxic metals, salts, or other inhibitory compounds can suppress microbial activity or induce community shifts, negatively affecting system performance (Huang et al., 2011).

Electrode-Related Factors

Electrode materials and properties are critical determinants of BES electrochemical performance. Carbon-based materials such as graphite felt, carbon cloth, and carbon nanotubes are frequently employed due to their high conductivity, biocompatibility, and chemical stability (Santoro et al., 2017). Increased surface area and porosity promote biofilm attachment and enhance current generation, whereas reduced electrode spacing minimizes internal resistance and improves power output. The electrocatalytic activity of the electrode surface also influences redox reaction kinetics and overpotential losses. Durability and resistance to fouling are essential for maintaining long-term performance and minimizing maintenance costs. In bioelectrochemical systems (BES), oxygen in the cathodic chamber serves as the preferred electron acceptor because of its high positive standard reduction potential of +1.23 V compared to Standard Hydrogen Electrode. Nevertheless, several metal ions such as Cr³⁺ (+1.33 V), Cu²⁺ (+0.286 V), and Mn²⁺ (+1.56 V) also possess positive reduction potentials, allowing them to act as alternative electron acceptors under suitable conditions (Mathuriya and Yakhmi, 2018). The electrochemical reduction of dissolved heavy metals commonly present in acid mine drainage (AMD) can therefore occur on the cathode surface. In MFC mode, spontaneous reduction is feasible for metals with relatively positive potentials, such as Cu²⁺ (+0.286 V) and Cr³⁺ (+1.33 V), while in MEC mode, where an external voltage is applied, the reduction of metals with lower or negative potentials, such as Ni²⁺ (−0.25 V), Cd²⁺ (−0.40 V) and Zn²⁺ (−0.764 V), becomes thermodynamically favorable (Kumbhar et al., 2021).



Electrochemical and Design Parameters

Electrochemical parameters such as internal resistance, external load, and electrode potential directly affect BE system efficiency. Lower internal resistance, which reflects minimized ohmic, activation, and concentration losses, corresponds to higher power densities. Other important factors are reactor configuration (whether single-chamber, dual-chamber, or stacked) determines mass transport characteristics and often scalability of the device, as membrane properties, including ion selectivity and conductivity, influence ion transport and pH stability. Membraneless designs may reduce cost but increase the risk of oxygen diffusion to the anode. In microbial electrolysis and synthesis systems, the control of electrode potential drives specific redox reactions, such as hydrogen evolution or product formation (López Zavala and Cámara Gutiérrez, 2023).

Environmental Factors

Environmental conditions significantly influence microbial and electrochemical dynamics. Temperature affects both microbial metabolic rates and electrochemical reaction kinetics, with higher temperatures generally enhancing activity up to an optimal rates (Gadkari et al., 2018). Dissolved oxygen plays a dual role: it could serve as an electron acceptor at the cathode, but could act as an unwanted electron sink if it diffuses into the anodic chamber. Salinity and conductivity influence ion transport and osmotic stress; higher conductivity often reduces internal resistance. Neutral to slightly acidic pH ranges are typically crucial for maintaining microbial function and electrode performance (Liang et al., 2013). Redox conditions affect microbial metabolism and electrochemical efficiency.

Operational and Process Mode

Operational parameters, including hydraulic retention time (HRT), flow rate, mixing intensity, and operational mode, have strong impact on BES performance. Longer HRTs promote higher substrate utilization and treatment efficiency, whereas excessive flow rates can induce shear stress and biofilm detachment (Angelov et al., 2013). Start-up and acclimation periods are required for stable biofilm development, directly impacting early-stage performance. Scaling up from laboratory to pilot or full-scale reactors introduces challenges such as increased internal resistance, non-uniform flow distribution, and complex operational control. The choice of operational mode (batch, continuous, or fed-batch) determines the overall stability and productivity of the system.

Contaminant Characteristics

In BES used for treating mining or industrial wastewater, the nature and concentration of contaminants play a huge role on systems performance. Heavy metals, sulfates, and organic pollutants interact differently with microbial consortia and electrode surfaces. High metal concentrations can be toxic to microorganisms, whereas low to moderate levels can be reduced electrochemically at the cathode. Mixed contaminant streams containing both metals and organics may exhibit synergistic or antagonistic effects on overall system efficiency (Huang et al., 2020).

Relevance of BES in Mining Wastewater Treatment

In BES, the treatment of mining wastewater involves several interrelated electrochemical and biological processes. One key mechanism is the reduction and recovery of metals. In MECs or the cathodic compartments of BES, metal ions such as Cu^{2+} , Zn^{2+} , and Cr^{6+} are electrochemically reduced to their elemental or less toxic states. Electrons released from the oxidation of organic substrates at the anode are transferred, either directly or via an external circuit, to the cathode, where metal deposition occurs. This process enables the selective recovery of valuable metals as solid deposits while simultaneously detoxifying contaminated water. For instance, copper can be recovered from acid mine drainage (AMD) with high current efficiencies and metal purity (Blázquez et al., 2019, Leon-Fernandez et al., 2021). Another important function of BES in mining wastewater treatment is the reduction of sulfate and acidity. Acid mine drainage typically contains elevated sulfate levels that contribute to acid generation. When sulfate-reducing bacteria (SRB) are incorporated into BES, they can facilitate the conversion of sulfate to sulfide at the cathode. The resulting sulfide can react with dissolved metals to form insoluble metal sulfides, thereby decreasing metal mobility and acidity. This biocathodic process not only mitigates AMD formation but also stabilizes the pH of effluents,

reducing the demand for chemical neutralization agents such as lime. BES can also contribute to the removal of organic matter and co-contaminants. In mining effluents that contain residual organic compounds, such as flotation agents or processing reagents, anodic biofilms can oxidize these organics, providing electrons for cathodic reactions. This dual functionality enables a synergistic process, where organic degradation supports simultaneous metal recovery and water purification (Santoro et al., 2017).

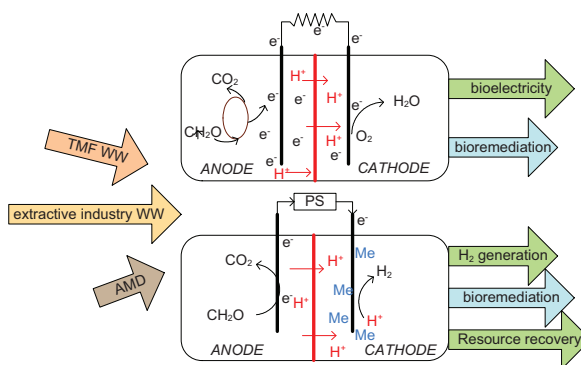


Figure 1. Application of BES for mining wastewater treatment

Different BES configurations have been developed to address the diverse characteristics of mining wastewaters. Microbial fuel cells (MFCs) are suitable for low-strength wastewaters, where electricity generation occurs concurrently with pollutant removal. Microbial electrolysis cells (MECs) are more appropriate for acidic and metal-rich effluents, as the application of a small external voltage enhances the reduction and recovery of metals. Microbial desalination cells (MDCs) are effective for saline mine waters, allowing simultaneous desalination and treatment. Hybrid configurations, such as MEC-SRB systems or MFC-constructed wetlands, can handle complex effluents containing mixtures of metals, sulfates, and organic matter. Furthermore, microbial electrosynthesis (MES) systems are being explored for the conversion of carbon dioxide in tailings water into value-added products (Li et al., 2025).

Conclusions

The integration of BES into mining wastewater treatment enables a transition toward resource recovery and circularity. Valuable metals such as copper, zinc, nickel, chromium, etc., can be recovered in their elemental form at the cathode, offering economic value and reducing the environmental burden of metal discharge. Sulfide and elemental sulfur produced through sulfate reduction may also be recovered and reused in industrial applications. In addition, energy can be recovered through electricity generation in MFCs or through the energy-efficient operation of MECs. Treated water from BES can be recycled within mining circuits, reducing freshwater consumption. Beyond resource recovery, BES contribute to significant environmental protection benefits. They reduce metal toxicity and acid load in effluents, minimize sludge generation compared with conventional treatments, and lower the overall carbon footprint through reduced chemical usage and potential energy generation. By stabilizing mine tailings water and recovering valuable products, BES help mitigate long-term environmental liabilities associated with mining operations.

Acknowledgements

This research is in performance of Project BG05SFPR001-3.004-0002-C01 "Development and improvement of professional and interdisciplinary education in technical and economic sciences and enhancement of the research capacity of the extractive industry through project-based doctoral studies", funded by Programme "Education", co-funded by the European Union.



References

- Adeloju, S. (2024). Bioelectrochemical Systems and Applications - Taking A Broader Perspective and Highlighting Relevance to the Circular Economy. *Bioelectrochemical Systems and Applications*. <https://ojs.sciltp.com/journals/bsa/article/view/471>
- Agostino, V., & Rosenbaum, M. A. (2018). Sulfate-Reducing ElectroAutotrophs and Their Applications in Bioelectrochemical Systems. *Frontiers in Energy Research*, 6, <https://doi.org/10.3389/fenrg.2018.00055>
- Angelov, A., Bratkova, S., & Loukanov, A. (2013). Microbial fuel cell based on electroactive sulfate-reducing biofilm. *Energy Conversion and Management*, 67, 283–286. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2012.11.024>
- Aulenta, F., Tucci, M., Cruz Viggi, C., Milia, S., Hosseini, S., Farru, G., Sethi, R., Bianco, C., Tosco, T., Ioannidis, M., Zanaroli, G., Ruffo, R., Santoro, C., Marzocchi, U., Cassiani, G., Peruzzo, L. (2025) Groundwater electro-bioremediation via diffuse electro-conductive zones: A critical review, *Environmental Science and Ecotechnology*, Volume 23, 100516, ISSN 2666-4984, <https://doi.org/10.1016/j.es.2024.100516>.
- Blázquez, E., Guisasaola, A., Gabriel, D., & Baeza, J. A. (2019). Application of Bioelectrochemical Systems for the Treatment of Wastewaters With Sulfur Species. *Microbial Electrochemical Technology*, 641–663. <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-64052-9.00026-1>
- Brewster, E. T., Pozo, G., Batstone, D. J., Freguia, S., & Ledezma, P. (2018). A modelling approach to assess the long-term stability of a novel microbial/electrochemical system for the treatment of acid mine drainage. *RSC Advances*, 8(33), 18682–18689. <https://doi.org/10.1039/c8ra03153c>
- Paulo, J. C., Martino, L. E., & Prasad, M. N. V. (2018). Abandoned Mine Land Reclamation—Challenges and Opportunities (Holistic Approach). *Bio-Geotechnologies for Mine Site Rehabilitation*, pp 3–31, ISBN 9780128129869, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812986-9.00001-4>
- Finkelstein, J., Swartz, J., Koffas, M. (2022). Bioelectrosynthesis systems, *Current Opinion in Biotechnology*, Volume 74, pp 211-219, ISSN 0958-1669, <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2021.11.011>.
- Gadkari, S., Fontmorin, J.-M., Yu, E., Sadhukhan, J. (2020). Influence of temperature and other system parameters on microbial fuel cell performance: Numerical and experimental investigation.) *Chemical Engineering Journal*, Volume 388, 124176, ISSN 1385-8947, <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.124176>.
- Hemalatha, M., Shanthi Sravan, J., & Venkata Mohan, S. (2020). Self-Induced Bioelectro-Potential Influence on Sulfate Removal and Desalination in Microbial Fuel Cell. *Bioresource Technology*, 123326. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123326>
- Huang, L., Regan, J. M., & Quan, X. (2011). Electron transfer mechanisms, new applications, and performance of biocathode microbial fuel cells. *Bioresource Technology*, 102(1), 316-323. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.06.096>
- Jalili, P., Ala, A., Nazari, P., Jalili, B., Ganji, D. D. (2024) A comprehensive review of microbial fuel cells considering materials, methods, structures, and microorganisms, *Heliyon*, Volume 10, Issue 3, e25439, ISSN 2405-8440, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25439>.
- Kumar, R., Singh, L., & Wahid, Z. A. (2015). Role of Microorganisms in Microbial Fuel Cells for Bioelectricity Production. *Microbial Factories*, 135–154. https://doi.org/10.1007/978-81-322-2598-0_9
- Kumbhar, P. (2021). Chapter 26 - Microbial Electrochemical Heavy Metal Removal: Fundamental to the Recent Development, Editor(s): Maulin P. Shah, Angana Sarkar, Sukhendu Mandal, *Wastewater Treatment*, Elsevier, pp 521-542, ISBN 9780128218815, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821881-5.00026-X>
- Leon-Fernandez, L. F., Medina-Díaz, H. L., Pérez, O. G., Romero, L. R., Villaseñor, J., & Fernández-Morales, F. J. (2021). Acid mine drainage treatment and sequential metal recovery by means of bioelectrochemical technology. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 96(6), 1543–1552. <https://doi.org/10.1002/jctb.6669>
- Li, K., Hu, N., Wang, L., Zhang, A., Bai, Y., Lu, S., Tao, Q., Feng, F. (2025). Microbial electrosynthesis for clean utilization and high-value conversion of CO₂: A bibliometric review, *International Journal of Hydrogen Energy*, Volume 103, pp 851-866, ISSN 0360-3199, <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2025.01.226>



Liang, F., Xiao, Y., & Zhao, F. (2013). Effect of pH on sulfate removal from wastewater using a bioelectrochemical system. *Chemical Engineering Journal*, Volume 218, pp 147-153, ISSN 1385-8947, <https://doi.org/10.1016/j.cej.2012.12.021>.

Logan, B. E., Rossi, R., Ragab, A., & Saikaly, P. E. (2019). Electroactive microorganisms in bioelectrochemical systems. *Nature Reviews Microbiology*, 17*(5), pp 307–319, <https://doi.org/10.1038/s41579-019-0173-x>

López Zavala, M. Á., & Cámara Gutiérrez, I. C. (2023). Effects of External Resistance, New Electrode Material, and Catholyte Type on the Energy Generation and Performance of Dual-Chamber Microbial Fuel Cells. *Fermentation*, 9(4), 344. <https://doi.org/10.3390/fermentation9040344>

Mafane, D., Ngulube, T., & Mphahlele-Makgwane, M. M. (2025). Anaerobic Bioremediation of Acid Mine Drainage Using Sulphate-Reducing Bacteria: Current Status, Challenges, and Future Directions. *Sustainability*, 17(8), 3567. <https://doi.org/10.3390/su17083567>

Mathuriya, A. S., & Yakhmi, J. V. (2014). Microbial fuel cells to recover heavy metals. *Environmental Chemistry Letters*. 12(4). 483–494. <https://doi.org/10.1007/s10311-014-0474-2>

Mohan, S. V, Velvizhi., G., Vamshi Krishna, K., & Lenin Babu. M. (2014). Microbial catalyzed electrochemical systems: A bio-factory with multi-facet applications, *Bioresource Technology*, Volume 165, pp 355-364, ISSN 0960-8524, <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.03.048>

Rabaey, K., & Rozendal, R. A. (2010). Microbial electrosynthesis—revisiting the electrical route for microbial production. *Nature Reviews Microbiology*, 8(10), 706–716. <https://doi.org/10.1038/nrmicro2422>

Rambabu, K., Banat, F., Pham, Q. M., Ho, S.-H., Ren, N.-Q., & Show, P. L. (2020). Biological remediation of acid mine drainage: Review of past trends and current outlook. *Environmental Science and Ecotechnology*. 2. 100024. <https://doi.org/10.1016/j.esec.2020.100024>

Santoro, C., Arbizzani, C., Erable, B., & Ieropoulos, I. (2017). Microbial fuel cells: From fundamentals to applications. *Journal of Power Sources*, 356, 225–244. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2017.03.109>

Sheoran. A. S., Sheoran. V., & Choudhary. R. P. (2010). Bioremediation of acid-rock drainage by sulphate-reducing prokaryotes: A review. *Minerals Engineering*. 23(14). 1073–1100, <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2010.07.001>

Shi, L., Dong, H., Reguera, G., Beyenal, H., Lu, A., Liu, J., Yu, H. Q., & Fredrickson, J. K. (2016). Extracellular electron transfer mechanisms between microorganisms and minerals. *Nature Reviews Microbiology*, 14*(10), 651–662. <https://doi.org/10.1038/nrmicro.2016.93>

Timmers, P. H. A., Vavourakis, C. D., Kleerebezem, R., Damsté, J. S. S., Muyzer, G., Stams, A. J. M., Plugge, C. M. (2018). Metabolism and Occurrence of Methanogenic and Sulfate-Reducing Syntrophic Acetate Oxidizing Communities in Haloalkaline Environments. *Frontiers in Microbiology*, 9. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.03039>

Zheng, T., Li, J., Ji, Y., Zhang, W., Fang, Y., Xin, F., Dong, W., Wei, P., Ma Jand Jiang, M. (2020). Progress and Prospects of Bioelectrochemical Systems: Electron Transfer and Its Applications in the Microbial Metabolism. *Front. Bioeng. Biotechnol.* 8:10. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.00010>

Zhou, X., Fernández-Palacios, E., Dorado, A. D., Gamisans, X., & Gabriel, D. (2022). Assessing main process mechanism and rates of sulfate reduction by granular biomass fed with glycerol under sulfidogenic conditions. *Chemosphere*, 286, 131649. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131649>



МИНЕРАЛЕН И ХИМИЧЕН СЪСТАВ НА АЛБИТИТИ ОТ НАХОДИЩЕ КАНАРАТА, САКАР ПЛАНИНА, ЮГОИЗТОЧНА БЪЛГАРИЯ

Мартин Димитров¹, Снежан Люцканов², Любомир Михайлов³, Радостина Атанасова¹

¹ Геологически институт „Страшимир Димитров“, Българска академия на науките, София 1113, ул. „Акад. Георги Бончев“ бл. 24; e-mails: martin@geology.bas.bg; radi@geology.bas.bg

² „Магма-97“ АД, София 1504, ул. Оборище 43; e-mail: snezhan_vl@abv.bg

³ Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, София 1700, Студентски град, ул. „Проф. Боян Каменов 1“; e-mail: l.mihailov@mgu.bg

РЕЗЮМЕ

В находището се извършва добив на албитизирани гранити (албитити), изградени главно от богат на натрий фелдшпат (минерала албит), използван за производството на керамика и стъкло. Извършени са микроскопски, фазови и химични определения на суровина от находище Канарата, Тополовградско. След посещение на обекта през 2024 г. бе повдигнат въпросът за нееднородността на суровината в различни участъци на находището. Тази нееднородност се изразява в различна температура на топене при преработката ѝ. Изследвани са образци от двата участъка на находище Канарата (западен и централен), както и скални проби преминали през флотация.

Минералните фази са определени по метода прахова рентгенова дифракция (XRD) и са представени от: албит, тремолит, кварц, талк и клинохлор. Определени са полуколичествените съотношения на фазите в образците.

Химичният състав на суровината е получен по метода оптико-емисионна спектроскопия с индуктивно свързана плазма (ICP-OES). Силикатните анализи показват, че суровината от централния участък на находището се характеризира с по-високи съдържания на магнезий и титан спрямо западния участък, който от своя страна показва по-високи стойности за калций, алуминий и желязо.

Увод

Находище Канарата се намира под едноименния връх в Сакар планина, на 3 km север-североизточно от с. Хлябово, Тополовградско. Разработват се два участъка – западен и централен, като добивът и от двата се осъществява по открит способ. Добиваната суровина представлява богат на Na фелдшпат (албит), който след преминаване през флотационна фабрика – Устрем, се използва за производството на керамика и стъкло.

Находището е представено от гранити на Сакарския батолит, засегнати от интензивна албитизация, която е най-значително проявена в централния участък. Терминът „албитит“ е въведен за пръв път от Хенри Уорд Търнър (Turner, 1896) за гранитоидни скали от района на Калифорния, изградени главно от албит. Албитизацията е високотемпературна натриева метасоматоза (800-600°C), при която се извършва постмагмена промяна на скали от остатъчни флуиди на затвърдяващ интрузив и първичните минерали се заместват от албит (Вангелова, 2013).

Геоложката изученост в района на Сакар планина е добра, а изследвания, конкретно насочени към Канарата се срещат в работите на: Dencheva (2017); Pristavova et al. (2019); Szopa et al. (2020); Янев (2023).

Целите на това изследване са получаване на допълнителни данни относно минераложките, фазови и химични определения на албититите от находище Канарата. Съгласно Европейския законодателен регламент 2024/1252 за суровини от изключителна важност, фелдшпатът попада в списъка на критичните и стратегически суровини (Георгиев, 2024), което дава допълнителен стимул за настоящото изследване.



Геоложка изученост

Находище Канарата се намира в североизточната периферия на Сакарския батолит, в близост до контакта му с вместващата го метаморфна рамка. За първи път е регистрирано от проф. Борислав Каменов през 1982-1986 г. (Вергилов и др., 1986-ф).

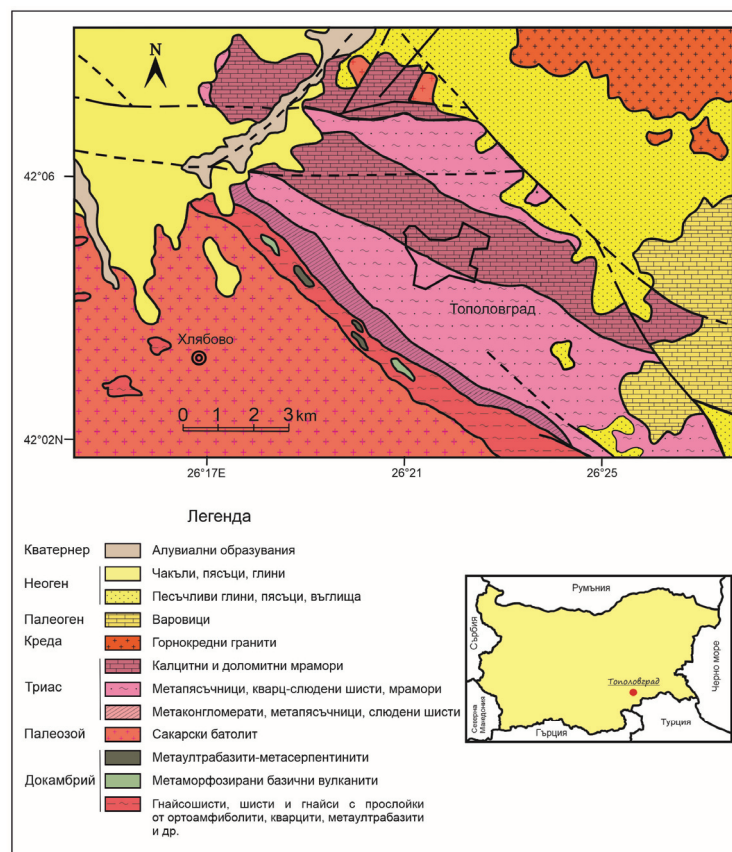
Районът на Сакар планина е с добра геоложка изученост, като през годините са съставени различни по мащаб геоложки карти (виж Кожухаров и др., 1994). През 2025 г. е издадена и Геоложка карта на Република България в М1:50 000, обхващаща прилежащите на Сакар планина райони на Югоизточна Странджа и част от Източното Средногорие (Василев и др., 2025).

Сакарският гранитоиден батолит (Kamenov et al., 2010) е вместен във високометаморфна рамка, представена от орто- и параметаморфни скали, метаморфозирани в амфиболитов фацис. Всички те са несъгласно покрити от пермски и триаски метаседименти. Куполообразният батолит е изграден от следните петрографски разновидности: равномернозърнести гранити в централните части, следвани към периферията му от порфиroidни по микроклин и аплитoidни гранити. В крайните части често се срещат ксенолити от ортоамфиболити (Kamenov et al., 2010).

През годините съществуват два основни възгледа относно начина на внедряване на Сакарския батолит (по Kamenov et al., 2010):

Според Кожухаров и др. (1994; 1994^a) (Фиг. 1) скалите на батолита са вместени сред гнайси, гнайсошисти, амфиболити, метаултрабазити, които изграждат Прародопската супергрупа и се разделят на две групи - Стражетска и Ботурченска. Авторите приемат, че възрастта на протолита и метаморфното събитие е докамбрийска, а Сакарският батолит е внедрен през горния палеозой и е постметаморфен.

Друг модел предлагат Gerdjikov & Ivanov (2000), Иванов и др. (2001), Gerdjikov (2005). Според тях параметаморфният протолит на високометаморфните скали е с къснопалеозойска до ранномезозойска възраст, а скалите са били деформирани и метаморфозирани в периода между късната юра и ранната креда, като Сакарския батолит е бил внедрен приблизително по същото време като синкинематична интрузия.



Фиг. 1: Геоложка карта на района около находището (по Кожухаров и др., 1994).



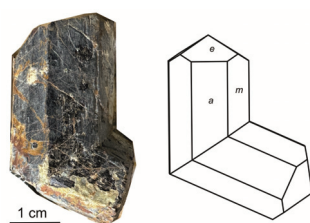
Данните получени от U-Pb геохронологички метод по циркон определят възрастта на Сакарския батолит, като раннопалеозойска – 300 Ma (Peycheva et al., 2016) и 295-296 Ma (Bonev et al., 2017). По същият метод Pristavova et al. (2019) получават възраст от 298.4 ± 1.6 Ma на албитизирани гранити от находище Канарата.

Pristavova et al. (2019) представят данни за петрографията и минералния състав на асимилираните от метаморфната рамка амфиболитови ксенолити в находището, които също са подложени на албитизация. В тях описват албитови друзи с минерали от групата на амфибола (Ca-Mg амфибол и бароисит), титанит, рутил, апатит, хлорит. Споменават и за кварцови жили с молибденит и рутил, както и наличието на дайки.

Сравнително мощна мафична дайка се разкрива в западния участък, като на скали от нея са извършени химични определения. В находището често се срещат хидротермални минерализации, запълващи пукнатини и каверни в албититите. Те са представени от полиедрични кристали албит, амфибол, апатит, титанит, рутил (Фиг. 2), епидот, хлорит, кварц и др., като хлоритът запълва свободното пространство в тях. Албититите на места са процепени от пегматитови и аплитови жили.

Szopa et al. (2020) изследват апатит и титанит от алпийския тип минерализации в находището и по тях отделят два хидротермални етапа с възрасти съответно от 149 ± 7 Ma и 114 ± 1 Ma. Авторите приемат, че през този период от време е извършена и албитизацията, засегнала Сакарския гранит в района на Канарата.

По тектонската подялба на Иванов (2017), Сакарският батолит попада в Сакар-Странджанската зона, разположена във вътрешните части на Балканидите. Сакар-Странджанската зона се разделя на следните две тектонски единици – Сакарска и Странджанска, като находище Канарата е в пределите на първата. Сакарската единица обхваща Сакар планина, западните части на Девентските възвишения и неглемите възвишения по протежението на р. Марица между Харманли, Димитровград, Симеоновград и Хасково. Основните структури в единицата са няколко ранноалпийски куполни подутини (Сакарски и Изворовски куполи), показващи черти на ядрени куполи, като централните им участъци са изградени от недеформирани или нашистени в различна степен гранитоиди от Сакарски тип. Сакарският купол изгражда хребета и на двата склона на Сакар планина между реките Тунджа и Марица. Пределите на купола се очертават от антиформно разположените пластови или шистозни повърхнини на палеозойските и триаски метаморфити спрямо гранитите на Сакарския батолит. В напречен разрез куполът е асиметричен.



Фиг. 2: Рутилов срастък по {101} и участващите кристалографски форми - а {100}, m {110} и e {101}. Колекция на Н. Господинов.

Материали и методи

Изследваните образци са албититова суровина (проби 1-3) от двата участъка на находището, както и две проби преминали през флотационен процес – проби 4 и 5 (Фиг. 3).

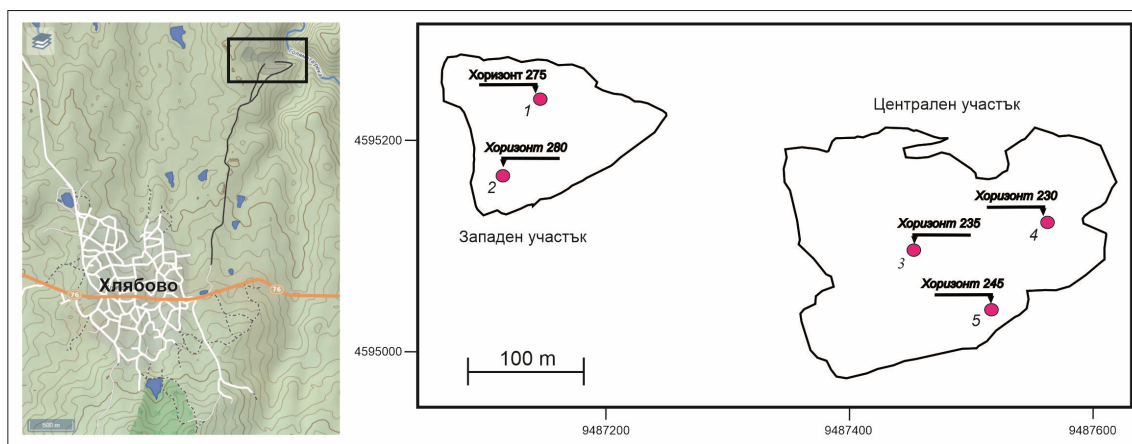
Минералите, изграждащи суровината, са изследвани под поляризационен микроскоп Leica DM750P в Геологически институт – БАН.

За определяне на фазовия състав на скалите са извършени прахови рентгенодифракционни изследвания в Геологически институт – БАН с Huber G670 Imaging Plate Guinier Camera, в режим на асиметрична трансмисия (пролъчване) с монохроматично рентгеново лъчение - Cu K α 1 с $\lambda = 1.5405981$ Å, при работен режим на рентгеновата тръба 40 mA и 40 kV. Дифракционната картина се регистрира



едновременно в ъгловия диапазон от 4 до 100° 2θ и стъпка от 0,005° 2θ, с време на експонация 30 минути.

Химичният състав на суровината е определен в ЦНИЛ „Геохимия“ при МГУ „Св. Иван Рилски“, чрез силикатни анализи по метода ICP 720-OES, Австралия, Agilent Technologies, след алкално стапяне и разтваряне с киселина на изсушени при 105°C проби, с оптико-емисионен спектрометър с източник на индуктивно свързана плазма.



Фиг. 3: Карта с точките на пробовземане, по К. Пехливанов и М. Кралева - План на минни работи 01.01.2024 г. в М1:1000, "Магма-97" ЕАД.

Химичен състав

На Таблица 1 са представени резултатите от силикатни анализи на изследваните албитити. За сравнение са дадени и химичните анализи на непроменен Сакарски гранит (по Kamenov et al., 2010).

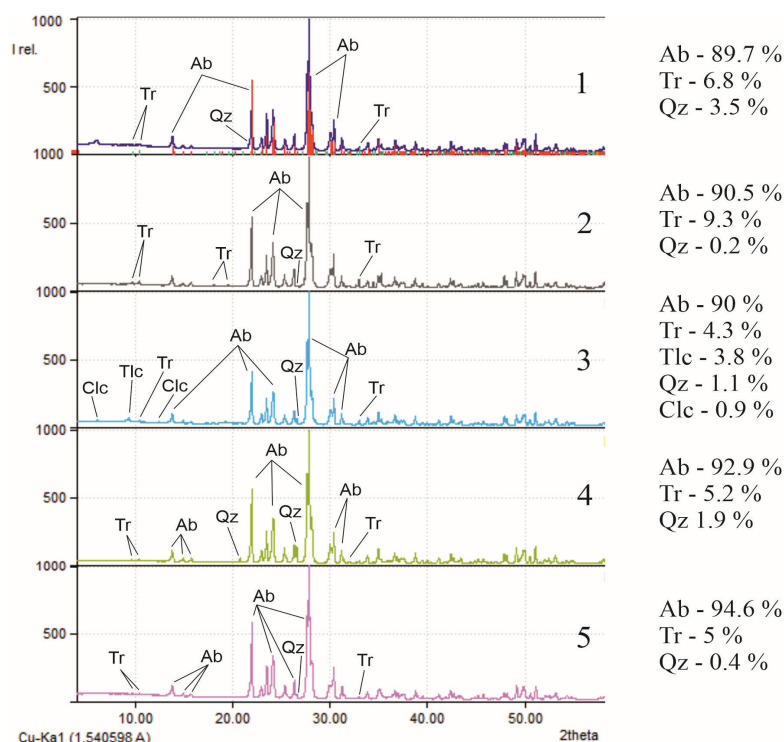
Таблица 1: Резултати от проведените силикатни анализи: 1 и 2 – западен участък; 3-5 – централен участък. 6-7: химичен състав на гранити от Сакарския батолит (по Kamenov et al. 2010); 6 – равномернозърнест гранит; 7 – порфириден по калиев фелдшпат гранит.

Образец №	1		2		3		4		5		6 Kamenov et al. (2010)	7 Kamenov et al. (2010)
Работен №	Кан-II-10		Кан-II-09		Кан-II-08		Кан-II-19		Кан-II-20		II/S	119
SiO ₂	65.20	± 1.10	64.83	± 1.17	64.46	± 1.67	65.52	± 1.78	65.04	± 1.41	71.35	66.60
TiO ₂	0.43	± 0.02	0.56	± 0.02	0.69	± 0.24	0.38	± 0.01	0.25	± 0.02	0.34	0.47
Al ₂ O ₃	19.67	± 0.31	19.09	± 0.35	18.14	± 0.33	20.10	± 0.46	20.90	± 0.42	14.12	15.78
Fe ₂ O ₃	1.10	± 0.04	1.11	± 0.02	0.83	± 0.02	0.35	± 0.01	0.42	± 0.05	0.70	2.55
FeO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.33	0.99
MnO	<0.02	-	<0.02	-	<0.02	-	<0.02	-	<0.02	-	0.04	0.06
MgO	1.78	± 0.10	1.31	± 0.03	2.84	± 0.06	0.58	± 0.01	0.62	± 0.05	0.74	1.39
CaO	1.97	± 0.03	2.67	± 0.04	1.94	± 0.04	1.55	± 0.03	2.35	± 0.05	2.26	2.77
Na ₂ O	8.49	± 0.12	8.99	± 0.12	8.79	± 0.15	9.63	± 0.26	9.47	± 0.26	3.96	4.46
K ₂ O	0.12	± 0.01	0.13	± 0.01	0.14	± 0.01	0.19	± 0.01	0.16	± 0.01	4.13	3.82
P ₂ O ₅	0.12	± 0.01	0.21	± 0.01	0.24	± 0.01	<0.05	-	<0.05	-	0.11	0.22
SO ₃	0.42	± 0.01	0.74	± 0.02	0.64	± 0.02	0.71	± 0.01	0.77	± 0.01	0.07	0.10
Загуба при налягане	1.15	± 0.12	0.46	± 0.04	0.95	± 0.07	0.56	± 0.03	0.52	± 0.04	0.52	1.01
Влага	0.59	± 0.03	0.21	± 0.03	0.19	± 0.02	0.17	± 0.02	0.22	± 0.03	0.04	0.08
Σ	100.45		100.10		99.66		99.57		100.50		99.71	100.30



Фазов състав

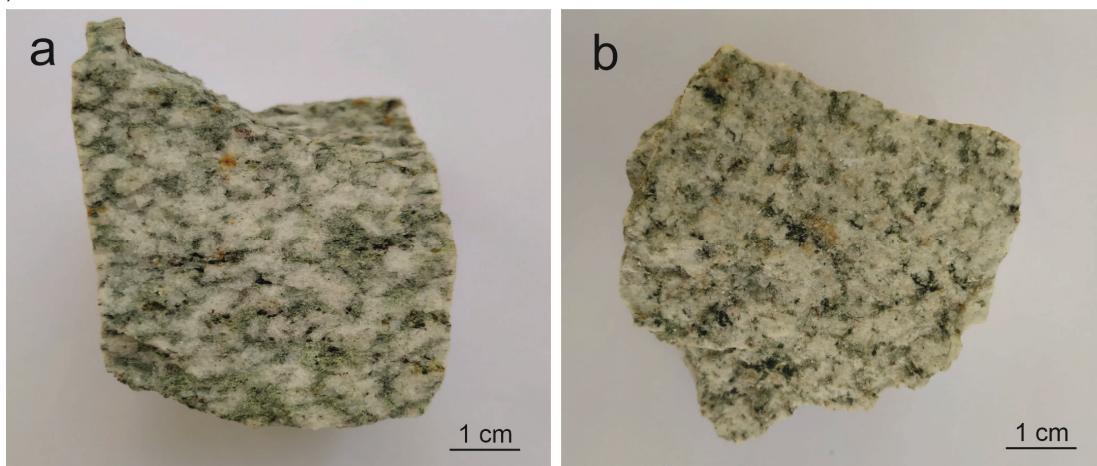
На Фиг. 4 са показани резултатите от праховите рентгенодифракционни анализи на изследваните образци от находището. Установени са следните фази: албит, тремолит, кварц, талк и клинохлор. Представени са и полуколичествените съотношения на фазите в суровината.



Фиг. 4: Фазов състав и процентно съдържание на фазите в изследваните образци. Ab – албит; Tr – тремолит; Qz – кварц; Tlc – талк; Clc – клинохлор.

Макротекстурни особености

Макроскопски суровината и от двата участъка показва сходни черти (Фиг. 5). Албитите са левкократни, дребно до среднозърнести със захаровиден изглед. Главен минерал се явява албитът, а в подчинени количества се налюдават амфибол, малко хлорит и понякога много дребни рутилови кристали. Най-често текстурите биват масивна, а също петниста до слабо шистозна по амфибол (Taylor, 2009).

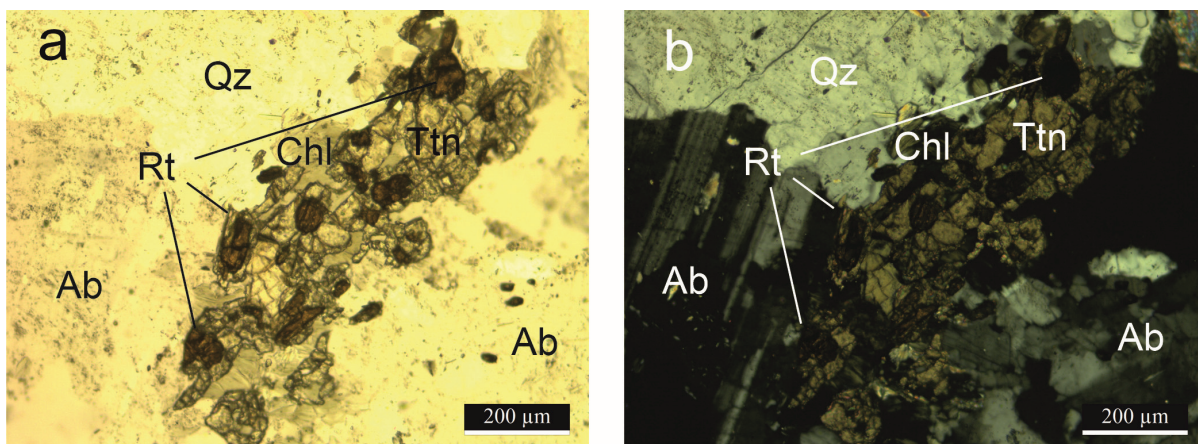


Фиг. 5: Макроскопски снимки на албитовата суровина: **a** – образец 3 (централен участък); **b** – образец 2 (западен участък).



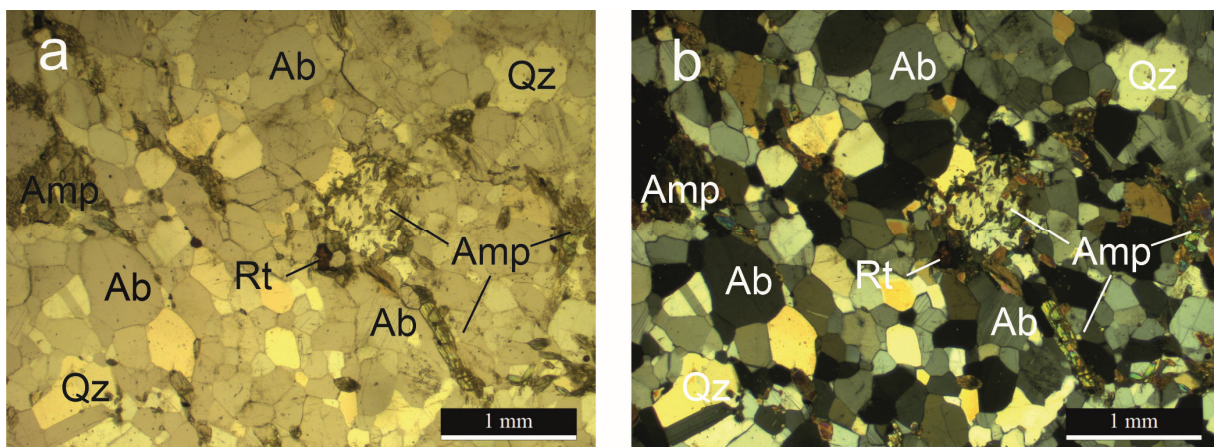
Микроскопски наблюдения

В образци от централния участък (Фиг. 6) са установени следните минерали: албит, кварц, рутил, титанит, хлорит, амфибол и мусковит. И тук албитът се наблюдава, като хипидиоморфни зърна с размери 0.4-0.8 mm и чести полисинтетни срастъци. Кварцът е представен от ксеноморфни, почти изометрични зърна с размери 0.3-0.7 mm, показва вълновидно потъмнение. Рутилът се среща, като хипидиоморфни зърна с размери 0.1-0.4 mm, има късопризматичен хабитус, често по него нараства титанит. Самият титанит се наблюдава, като хипидиоморфни зърна с размери около 0.2 mm, силно напукан, често има включения от рутил. Среща се по-често, отколкото в образците от западния участък. Хлоритът се наблюдава като фини люспести агрегати и пресича всички останали минерали. Амфиболът е с предимно идиоморфни кристали с размери 0.2-0.8 mm, хабитус - призматичен до дългопризматичен. Мусковитът е представен от люспести кристали с размери до 0.6 mm.



Фиг. 6: Микрофотография на образец 3 (централен участък): **a** – x 15, PPL; **b** – x 15, CPL. Ab – албит; Qz – кварц; Rt – рутил; Ttn – титанит; Clc – хлорит.

В образците от западния участък са установени минералите албит, кварц, амфибол, рутил и титанит (Фиг. 7). Албитът се наблюдава, като хипидиоморфни зърна с размери 0.3-0.8 mm и чести полисинтетни срастъци. Кварцът е ксеноморфен и под формата на почти изометрични зърна с размери 0.2-0.6 mm, показва вълновидно потъмнение. Амфиболът е с предимно идиоморфни кристали с размери <0.1-0.8 mm, има призматичен до дългопризматичен хабитус, наблюдава се по-често отколкото в образците от централния участък. Рутилът е хипидиоморфнозърнест с размери 0.1-0.4 mm, често по него нараства титанит. Титанитът е наблюдаван, като хипидиоморфни зърна с размери около 0.2 mm, силно напукан, с чести включения от рутил.



Фиг. 7: Микрофотография на образец 2 (западен участък): **a** – x 10, PPL; **b** – x 10, CPL. Ab – албит; Qz – кварц; Amp – амфибол; Rt – рутил.



Резултати:

Извършените силикатни анализи характеризират суровината от централния участък на находището с по-високи съдържания на магнезий и титан, спрямо западния участък, който показва по-високи стойности за калций, алуминий и желязо.

Проведените рентгенови дифракционни анализи показват, че в суровината участват минералите албит, тремолит, кварц, талк и клинохлор. Тяхното полуколичествено съотношение в съответните образци е:

- образец 1 – албит – 89.7 %, тремолит – 6.8 %, кварц – 3.5 %;
- образец 2 - албит – 90.5 %, тремолит – 9.3 %, кварц – 0.2 %;
- образец 3 - албит – 90 %, тремолит – 4.3 %, талк – 3.8 %, кварц – 1.1 %, клинохлор – 0.9 %;
- образец 4 - албит – 92.9 %, тремолит – 5.2 %, кварц – 1.9 %;
- образец 5 - албит – 94.6 %, тремолит – 5 %, кварц – 0.4 %.

Микроскопските изследвания показват, че в суровината от западния участък присъстват минералите албит, кварц, амфибол, рутил и титанит. В централния участък минералите са албит, кварц, амфибол, рутил, титанит, хлорит и мусковит.

Заклучение

Изследвани са химичният и минерален състав на представителни проби от кариерата, както и материали преминали през флотация.

Микроскопските изследвания показват, че в суровината от централния участък минералите титанит и хлорит (клинохлор) се срещат по-често, отколкото в западния. Минералът тремолит се явява по-характерен за западния участък.

Рентгеновите дифракционни анализи показват, че съставът на минералните фази е сходен и от двата минни участъка (централен и западен). Минералите са: албит, тремолит, кварц, талк, клинохлор.

Силикатните анализи характеризират суровината от централния участък с по-високи съдържания на магнезий и титан, спрямо западния участък, който показва по-високи стойности за калций, алуминий и желязо.

В първия случай това може да се обясни с присъстващите в по-големи количества минерали, като талк, клинохлор (за магнезий) и титанит (за титан), а във втория - с по-голямото разпространение на тремолит в образците. Съдържанието и на титан и на калций в суровината, вероятно е причината за разликите в температурата ѝ на топене.

Благодарности: Специални благодарности отправям към "Магма-97" АД за предоставените материали и възможността за работа на обекта. Искрено благодаря на Н. Господинов за съдействието при теренните работи и предоставените образци.

Литература

- Вангелова, В. (2013). Рудообразователни процеси. - СУ „Св. Климент Охридски“, катедра „Минералогия, петрография и полезни изкопаеми“, 195 с.
- Василев, Е., Х. Дабовски, И. Бончева, В. Сачански. 2025. Геоложки карти на Република България в М1:50 000 на Югоизточна Странджа и част от Източното Средногорие, под редакцията на Х. Дабовски. – Геологически институт при БАН, София
- Георгиев, Св. 2024. Критични и стратегически суровини в България: контури на новата Национална научна програма. - Сп. Бълг. геол. д-во, 85, 3, 15-18.
- Иванов, Ж., 2017. Тектоника на България. С., Изд. „Св. Кл. Охридски“, 330 с.
- Иванов, Ж., Я. Герджиков, А. Кунов. 2001. Нови данни и съображения за структурата и тектонската еволюция на Сакарската област, ЮИ България. – Год. Соф. унив., 91, 1, Геол. и геогр., 35-80.
- Кожухаров, Д., С. Савов, И. Боянов, Г. Шилияфов. 1994. Геоложка карта на България, М 1:100 000. Картен лист Тополовград. КГМР.



Кожухаров, Д. С. Савов, Г. Чаталов, Е. Кожухарова, И. Боянов, Е. Челебиев. 1994а. Обяснителна записка към геоложка карта на България, М 1:100 000, картен лист Тополовград. С., КГМР, Геология и Геофизика АД, 73 с.

Янев, Й. 2023. Минералогия на находището на албитизирани гранити Канарата, Сакар планина. – Сп. Бълг. геол. д-во, 84, 1, 11-21.

Bonev, N., P. Filipov, R. Moritz, R. Raicheva, M. Borisova. 2017. Ordovician and Carboniferous-Permian magmatism in the Sakar unit of the Sakar-Strandzha zone, Bulgaria. – In: National Scientific Conference "Geosciences 2017". Bulg. Geol. Soc., Sofia, 47–48.

Dencheva, S. 2017. Apatite from Sakar Mountain, Bulgaria – morphology and physical properties. – In: *National Scientific Conference "Geosciences 2017"*. Bulg. Geol. Soc., Sofia, 21–22.

Gerdjikov, I. (2005) Alpine metamorphism and granitoid magmatism in the Strandzha zone: New data from the Sakar unit, SE Bulgaria. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 14, 167–183.

Gerdjikov, I., Ivanov Z (2000) Main features of pre-Tertiary basement of the Maritza area. *Annuaire de L'Universite de Sofia, "St. Kliment Ohridski", Faculte de Geologie et Geographie*, livre 1, Geologie, 92, 13–21.

Kamenov, B., V. Vergilov, H. Dabovski, I. Vergilov, L. Ivchinova. 2010. The Sakar batholith – petrology, geochemistry and magmatic evolution. – *Geochem., Mineral. and Petrol.*, 48, 1–37.

Peytcheva, I., S. Georgiev, A. von Quadt. 2016. U/Pb ID-TIMS dating of zircons from Sakar-Strandzha Zone: new data and old questions about the Variscan orogeny in SE Europe. – In: National Scientific Conference "Geosciences 2016". Bulg. Geol. Soc., Sofia, 71–72.

Pristavova, S., N. Tzankova, N. Gospodinov, P. Filipov. 2019. Petrological study of metasomatic altered granitoides from Kanarata deposit, Sakar Mountain, Southeastern Bulgaria. – *J. Mining and Geol. Sci.*, 62, 1, 53–61.

Szopa, K., A. Sałacińska, A. P. Gumsley, D. Chew, P. Petrov, A. Gawęda, A. Zagórska, E. Deput, N. Gospodinov, K. Banasik. 2020. Two-stage Late Jurassic to Early Cretaceous hydrothermal activity in the Sakar Unit of Southeastern Bulgaria. – *Minerals*, 10, 266.

Taylor, R. 2009. *Ore textures: recognition and interpretation*. Springer, Berlin, Heidelberg., 288 p.

Turner, H.W. (1896) Notice of some syenitic rocks from California. *Am. Geol.*, 17, 375-386.

Фондови материали

Вергилов, В., Б. К. Каменов, Л. Ивчинова, И. Вергилов, И. Генов, Х. Дабовски, А. Андреев, С. Савов, И. Хайдутков. 1986. Петрология и структура на Сакарския батолит, на Лесовския тип гранити в района на с. Радовец и на някои интрузивни тела в района източно от р. Тунджа. Геоархив на ДСО „Редки метали“ в Националния геоложки фонд, Министерство на енергетикта. Проект № 154/82, 371 с.



ПРИЛОЖЕНИЕ НА ОПТИЧНА ЕМИСИОННА СПЕКТРОМЕТРИЯ С ИНДУКТИВНО СВЪРЗАНА ПЛАЗМА С РАДИАЛНО НАБЛЮДЕНИЕ И ВИСОКО РАЗДЕЛЯНЕ ПРИ ОПРЕДЕЛЯНЕ НА РЕНИЙ В МОЛИБДЕНИЕВИ И МЕДНИ КОНЦЕНТРАТИ

Николая Величкова*, **Олга Велева***, **Методи Караджов***, **Серафим Величков****, **Нонка Даскалова****

* *Геологически институт, Българска Академия на науките, София, niaveli@geology.bas.bg*

** *Институт по обща и неорганична химия, Българска Академия на науките, София, nonidas@hotmail.com*

РЕЗЮМЕ

Изследвани са възможностите на оптичната емисионна спектрометрия с индуктивно свързана плазма с висока разделителна способност HR-ICP-OES при определяне на рений в молибденови и медни концентрати. Регистрирана е хиперфина структура на спектралните линии Re II 197.248, Re II 221.426 и Re II 227.525 nm. Отделните компоненти на хиперфината структура са използвани като самостоятелни аналитични линии, което минимизира спектралните пречения при сложна матрица съдържаща: Mo, Al, Ti, Fe, Mg, Ca и Cu. Q-концепцията е приложена за оптимален избор на аналитични линии. Пробите са подготвени чрез микровълнова киселинна минерализация, а точността и прецизността на метода са потвърдени със сертифицирани референтни материали. Резултатите показват, че HR-ICP-OES осигурява по-ниски граници на откриване в сравнение с рентгенова флуоресценция с пълно отражение (TRXRF).

RHENIUM DETERMINATION IN MOLYBDENUM AND COPPER CONCENTRATE BY HIGH RESOLUTION RADIAL VIEWING INDUCTIVELY COUPLED PLASMA OPTICAL EMISSION SPECTROMETRY

Nikolaya Velitchkova*, **Olga Veleva***, **Metody Karadjov***, **Серафим Величков****, **Нонка Даскалова****

* *Geological Institute, Bulgarian Academy of Sciences, Sofia, Bulgaria; e-mail: niaveli@geology.bas.bg*

** *Institute of General and Inorganic Chemistry, BAS, Sofia, Bulgaria; e-mail: nonidas@hotmail.com*

ABSTRACT

The applicability of high-resolution inductively coupled plasma optical emission spectrometry HR-ICP-OES, for the determination of rhenium in molybdenum and copper concentrates was investigated. The hyperfine structure (HFS) of the most prominent rhenium emission lines: Re II 197.248, Re II 221.426, and Re II 227.525 nm were resolved. The individual HFS components were employed as independent analytical lines to minimize spectral interferences from complex matrices containing Mo, Al, Ti, Fe, Mg, Ca and Cu. The Q-concept was applied to quantify spectral interferences and for optimal line selection. Samples were decomposed by microwave-assisted acid digestion. The analytical performance of HR-ICP-OES was evaluated in terms of accuracy, precision, and detection limits using certified reference materials. Comparative results demonstrated superior detection capability of HR-ICP-OES over total reflection X-ray fluorescence (TXRF).

1. Въведение

Търсенето на рений се обуславя от интензивното развитие на аерокосмическата индустрия и производството на газови турбини. Необходимостта от този елемент е свързана с широкото му приложение в термоустойчиви никелови сплави, използвани при изработката на лопатки за авиационни и енергийни двигатели. Уникалният „ефект на рения“ се проявява чрез способността му едновременно да повишава якостта, пластичността и заваряемостта на сплавите в които се добавя, както и същевременно понижава температурата на преход към крехко състояние и предотвратява крехкостта след рекристализация. Реният подобрява общите характеристики и стабилност на сплавите, особено при високи температури, което ги прави по-устойчиви на деформация и износване. [8, 9].



Елементът рений не образува промишлено значими собствени минерали, рядко се среща като свободен елемент или като свой собствен минерал ReS_2 . Среща се главно под формата на изоморфни включения и, по-рядко, като самостоятелни минерали – например жежказганит. Основните суровинни източници с индустриално значение са рениево-молибденови концентрати, където реният е до 0,01 – 0,02% и в медно-сулфидни руди до 0,002 – 0,0035%. Намира в медни и молибденови руди, както и в по-малки количества в уранови находища. Поради това се извлича като страничен продукт при производството на мед, молибден и уран. Технологичните процеси са насочени основно към добива на тези метали, като реният се разпределя между различните продукти на тяхната преработка [7].

Скрапът от термоустойчиви сплави служи като допълнителен източник на рений, наред с неговите първични минерални суровини [11]. Въпреки че вторичните суровини съдържат значителни количества рений (1–5%), тяхната преработка е ресурсно интензивна. Разлагането на сплавите изисква смилане на изключително здрави материали, използване на силни киселини или големи количества хлориращи реагенти за извличане на компонентите им. Електрохимичните методи, от своя страна, водят до образуването на значителни количества отработени електролити. Поради това извличането на рений както от минерални суровини, така и от промишлени отпадъци остава индустриално значим процес, необходим за осигуряване на надеждни доставки на този рядък метал.

Основната цел на настоящата работа е да представи проблемите и възможностите на ICP-OES с честота на индуктивно свързаната плазма от 40,68 MHz и спектрометър с висока разделителна способност при определянето на рений в проби с различен състав на матрицата - медни и молибденови концентрати.

2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ УСЛОВИЯ

2.1. Аналитична апаратура

Аналитичните експериментите бяха проведени със спектрометър с високо разделяне от 5 pm - ICP-OES Horiba, Jobin Yvon, система с радиално наблюдение и честота на индуктивно свързаната плазма - 40,68 MHz, модел: ULTIMA 2. Най-чувствителната линия на рения с дължина на вълната под 200 nm беше измерена при азотно продухване на оптиката [5].



Фигура 1. ICP-OES спектрометър, ULTIMA 2, HORIBA Jobin-Yvon

Таблица 1. Характеристиките на ICP-OES спектрометър, HORIBA Jobin-Yvon, ULTIMA 2

Монохроматор	HORIBA Jobin-Yvon, ULTIMA 2
Спектрометър	Czerny-Turner, фокусно разстояние 1 m
Решетка	Холографска, 2400 резки mm^{-1}
Интервал от дължини на вълните	Първи и втори порядък
Входящ процеп	0.015 / 0.02 mm
Изходящ процеп	0.020 / 0.08 mm
Спектрална ширина - практическа	5 pm in the 2 nd порядък от 160nm до 320nm; и 10 pm в първи 1 st порядък от 320 до 800 nm
Детектори	Високо динамични детектори на основата на фотоумножители PMT
Радиочестотен генератор	Твърдофазен RF 40.68MHz
Честота	40.68 MHz, 0.5–1.55kW



Количествената оценка за вида и големината на спектралните пречения беше получена чрез сканиране на дължините на вълните около най-чувствителните аналитични линии на рений в присъствието на 2000 µg/mL Mo, Al, Ti, Fe, Mg, Ca и Cu, използвани поотделно като пречещи елементи (Фигура 1 и 2).

За количествено определяне на спектралните пречения беше приложена Q-концепцията на Boumans и Vrakking в присъствието на много-компонентна матрица [2, 3]. Получените Q-стойности бяха използвани за изчисляване на истинските граници на откриване ($C_{L,true}$) при многокомпонентна матрица чрез уравнение Eq. 1

$$C_{L,true} = 2/5 \sum_j Q_{IJ}(\lambda_a) \times C_{IJ} + 2\sqrt{2} \times 0.01 \times RSDB \times [BEC + \sum_j Q_{IJ}(\lambda_a) \times C_{IJ} + \sum_j Q_{WIJ}(\Delta\lambda_a) \times C_{IJ}] \quad (1)$$

Конвенционалната граница на откриване се дефинира по уравнение Eq. 2:

$$C_{L,conv} = 2\sqrt{2} \times 0.01 \times RSDB \times [BEC + \sum_j Q_{IJ}(\lambda_a) \times C_{IJ} + \sum_j Q_{WIJ}(\Delta\lambda_a) \times C_{IJ}] \quad (2)$$

Границите на откриване за чист разтворител се определят по уравнение Eq. 3:

$$C_L = 2\sqrt{2} \times RSDB \times 0.01 \times BEC \quad \text{където } RSDB = 1\%. \quad (3),$$

2.2. Процедура за разтваряне

Минерализацията беше проведена с микровълнова система за киселинна минерализация (SINEO MDS-8 Microwave Chemistry Workstation, Китай). В тефлонови съдове за разлагане под налягане бяха отмерени 0,2 g от пробата. Добавени бяха по 6 ml HNO_3 и 2 ml HCl . Пробата се оставя да престои 24 часа при стайна температура, за да се осъществи бавно окисляване на органичната материя и намаляване на газовете, образувани по време на последващото нагряване. Разлагането беше проведено последователно при следните температури: 10 минути при 70°C, 5 минути при 90°C, 5 минути при 110°C, 5 минути при 130°C и 10 минути при 150°C. Всички разтвори бяха филтрирани през мембранен филтър 0,45 µm с цел предотвратяване на запушване на пулверизатора. Полученият разтвор беше доведен до обем 50 ml с 0,2 mol·L⁻¹ HNO_3 и подаден за анализ чрез ICP-OES.

Киселинна празна проба, съдържаща киселините, използвани за минерализация, беше приготвена. Всички компоненти на матрицата присъстват в крайния разтвор, поради тази причина техните спектрални пречения бяха взети под внимание. Матричната празна проба съдържа както киселините, така и компонентите на матрицата. Концентрациите на матричните елементи в крайния разтвор за различните типове проби, изследвани в настоящата работа, са според типичният химичен състав за меден концентрат. Той включва основно Cu 20–30%, Fe 15–25% S 25–35%. В състава му влизат още Al и Si от 1–5%, Mg и Ca от 0,5–2%, както и следови количества от Mo и Zn. Молибденовият концентрат съдържа предимно Mo 40–60%, Fe 5–10%, Cu 0,5–2% и S 8–12%, като включва и Al и Si от 1–5%, Mg и Ca от 0,5–2%, както и следови количества Zn.

2.3. Сертифицирани стандартни образци

a) Certified Reference Material "Mo B", Molybdenum concentrate "CGL-202" (CRM Molybdenum concentrate "CGL-202"), Central Geological Laboratory, Mongolia

b) Standard Reference Material 332, Copper concentrate (SRM 332 Copper concentrate), National Institute of Standards and Technology (NIST), USA.

3. Резултати и дискусия

3.1. Хиперфина структура на линиите на рения

Хиперфината структура на линиите на рения се определя от спектралните характеристики на самия рений. Основното състояние на атомите рений е $[Xe] 4f^{14} 5d^5 6s^2$. Седемте валентни електрона на рения дават термини с четири мултиплетности (октети, секстети, квартети и дублети), което обуславя сложния му електронен спектър.

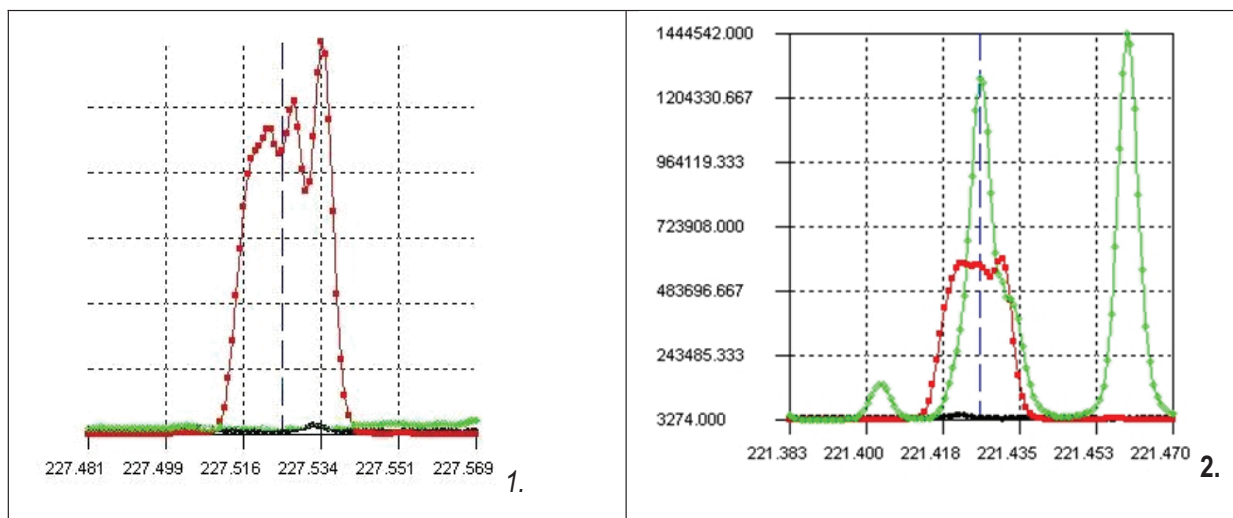


При условия на висока разделителна способност компонентите на хиперфинната структура (HFS) са използвани като отделни аналитични линии, за да се избегнат спектралните пречения при определянето на рений в молибденови и медни концентрати, съдържащи сложна матрица от Mo, Al, Ti, Fe, Mg, Ca и Cu.

Re II 197.248: Re II 197.252, Re II 197.248, Re II 197.245

Re II 221.426: Re II 221.431, Re II 221.426, Re II 221.423

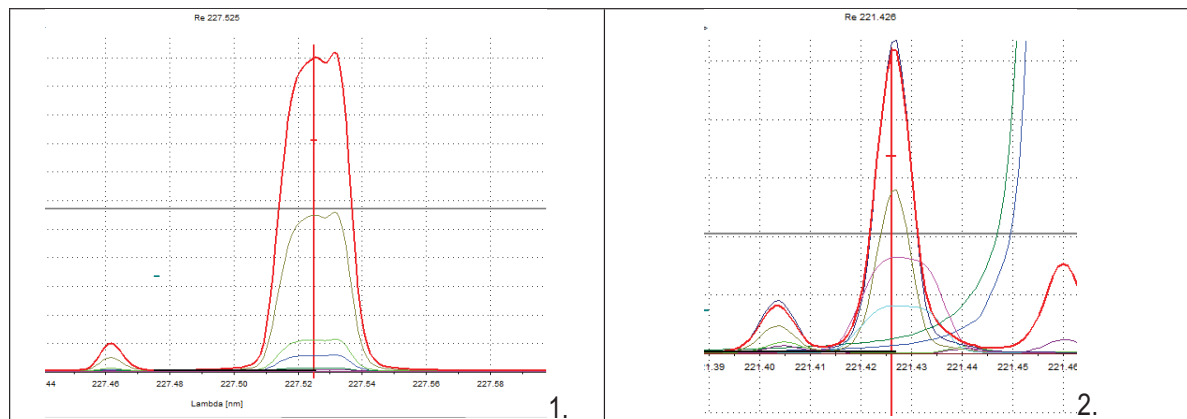
Re II 227.528: Re II 227.534, Re II 227.528, Re II 227.522



Фигура 2. Хиперфинната структура на две рениеви линии: 1. Re II 227.525 nm и 2. Re II 221.426. Пречене от линия на матричен компонент Mo.

На фигура 2.1. е представена хиперфинната структура на Re II 227.525 nm е разделена на три компонента (Re II 227.534 nm, Re II 227.528 nm и Re II 227.522 nm) и Re II 221.426: Re II 221.431, Re II 221.426, Re II 221.423, при която се вижда пречене от матричен компонент - молибден. Двата спектъра са получени чрез радиално наблюдение с ICP (индуктивно свързан плазмен източник) с честота 40.68 MHz и спектрометър Czerny-Turner със спектрална ширина = 5 nm (FWHM).

Под условия на висока разделителна способност компонентите на хиперфинната структура (HFS) са използвани като отделни аналитични линии, за да се избегнат спектрални пречения при определянето на рений в молибденови и медни концентрати, съдържащи сложна матрица от Mo, Al, Ti, Fe, Mg, Ca и Cu.



Фигура 3. Сравнение на спектрите на две рениеви линии: 1. Re II 227.525 nm и 2. Re II 221.426 nm, получени със спектрометър с писел разделителна способност от 8 nm. Пречене от линия на матричен компонент Mo при линията на Re II 221.426 nm.



3.2. Идентифициране на матричните линии

При използване на микровълнова киселинна минерализация крайният разтвор на пробата съдържа всички компоненти на матрицата. Тази процедура се извършва в затворена система, което позволява напълно да се елиминират загубите на рений. Крайният разтвор съдържа всички матрични елементи - Mo, Al, Ti, Fe, Mg, Ca и Cu, което означава, че спектралните пречения върху най-чувствителните аналитични линии на рения не могат да бъдат пренебрегнати. Тъй като спектралните пречения имат критично значение за точността на аналитичните резултати, те бяха изследвани. Количествената информация за вида и големината им беше получена чрез сканиране на дължините на вълните около избраните аналитични линии на рения в присъствието на 2000 µg/mL Mo, Al, Ti, Fe, Mg, Ca и Cu, използвани поотделно като пречещи елементи Фиг. 1, 2. За количествено определяне на спектралните пречения бе приложена Q-концепцията на Boumans и Vrakking в присъствието на много-компонентна матрица [2, 3].

Таблица 2. Сравнение на Q-стойностите $Q_{IJ}(\lambda_a)$ $Q_{IW}(\Delta\lambda_a)$ получени при два спектрометъра

1. ICP-OES спектрометър с 40 MHz ICP, радиално наблюдение, плоска холографска дифракционна решетка и фотоумножител за детектор, Czerny Turner оптична схема, разделителна способност 5 nm (FWHM), последователен			Пречещ елемент	2. ICP-OES спектрометър с 27 MHz ICP, аксиално наблюдение, плоска холографска дифракционна решетка, CCD, Роуланд кръг оптична схема, Пиксел разделителна способност 8 nm, едновременен		
λ , nm – избран пик от хиперфината структура	$Q_{IJ}(\lambda_a)$	$Q_{IW}(\Delta\lambda_a)$		λ , nm в съответствие с ICP-таблиците [1, 4, 12].	$Q_{IJ}(\lambda_a)$	$Q_{IW}(\Delta\lambda_a)$
		$\lambda_W = 197.299$ nm				$\lambda = 197.299$ nm
Re II 197.251	3.4×10^{-6}	2.4×10^{-5}	Mo	Re II 197.248 Re II 197.251	6.12×10^{-5} 2.95×10^{-5}	2.25×10^{-5} 2.55×10^{-5}
Re II 197.251	0	2.0×10^{-5}	Fe		3.65×10^{-6} 1.00×10^{-6}	1.66×10^{-5} 6.24×10^{-6}
Re II 197.251	0	2.5×10^{-5}	Cu		3.1×10^{-6} 3.8×10^{-6}	7.5×10^{-6} 1.47×10^{-5}
		$\lambda_W = 221.486$ nm				$\lambda_W = 221.486$ nm
Re II 221.432	1.5×10^{-4}	2.0×10^{-5}	Mo	Re II 221.426	1.6×10^{-2}	2.0×10^{-5}
Re II 221.432	0	7.6×10^{-6}	Fe		2.0×10^{-5}	2.0×10^{-5}
Re II 221.423	4.7×10^{-4}	1.6×10^{-4}	Cu		7.3×10^{-4}	6.0×10^{-5}
		$\lambda_W = 227.495$ nm				$\lambda_W = 227.495$ nm
Re II 227.534	0	2.7×10^{-5}	Mo	Re II 227.528 Re II 227.534	4.98×10^{-6} 2.9×10^{-5}	4.14×10^{-5} 2.13×10^{-5}
Re II 227.534	4.0×10^{-5}	8.2×10^{-6}	Fe		2.27×10^{-4} 7.41×10^{-5}	4.98×10^{-5} 0
Re II 227.534	0	2.4×10^{-5}	Cu		6.23×10^{-6} 1.48×10^{-5}	2.86×10^{-5} 0

В таблица 2. е представено сравнение на два ICP-OES спектрометъра различаващи се по честота на възбуждане, геометрия на наблюдение, тип на детектора и оптична конфигурация. Спектрометър 1 разполага с 40 MHz индуктивно свързана плазма и радиално наблюдение. Оптичната система е по схемата на Czerny-Turner, с плоска холографска дифракционна решетка и детектори -



фотоумножители. Спектралната разделителна способност на този спектрометър е 5 nm (FWHM), което позволява по-добро разделяне на близко разположени спектрални линии. Апаратът работи в последователен режим на измерване, при който отделните спектрални линии се регистрират една след друга. Спектрометър 2 използва 27 MHz индуктивно свързана плазма и аксиално наблюдение. Пикселната разделителна способност на уреда е 8 nm, което определя леко по-ниска спектрална резолюция, но значително по-висока скорост на измерване. Оптичната система е реализирана по схемата на Роуландов кръг (Rowland circle), също с плоска холографска дифракционна решетка, но с CCD детектор, позволяващ едновременно запис на множество спектрални линии. Тези различия определят специфичните предимства и ограничения на всеки инструмент по отношение на чувствителност, спектрална разделителна способност и време за анализ.

Представени са Q-стойностите за пречене от линии $Q_{IJ}(\lambda_a)$ и от крила на линии $Q_{IW}(\Delta\lambda_a)$, отчитащи количествено степента на спектралните пречения от матричните компоненти. Измерените стойности на пречене от линии и крила на линии са по-ниски при спектрометъра с по-висока спектрална разделителна способност. Това осигурява възможност за постигане на по-ниски граници на откриване и, не на последно място, позволява използването на хиперфината структура на спектралните линии за избор на аналитични пикове, свободни от пречене от матричните компоненти.

3.3. Количествено определяне на спектралните пречения и оптимален избор на аналитични линии

При определянето на рений в молибденови и медни концентрати трябва да се вземе предвид присъствието на сложната матрица, съдържаща Mo, Al, Ti, Fe, Mg, Ca и Cu. За количествено определяне на различните видове спектрални пречения и оптималният избор на аналитични линии е използвана Q-концепцията [2,3]. От количествените резултати за спектралните пречения, получени чрез всички компоненти на HFS на рения, следва:

Re II 197.245 nm, Re II 197.248 nm и Re II 197.251 nm са повлияни от пречения в присъствието на Mo и Al. Тези линии на рения не могат да се използват като аналитични линии при определяне на рений в молибденов концентрат, но могат да се използват при наличие на мед като пречещ елемент — $Q_{ICu}(\lambda_a) = 0$.

Re II 221.423 nm, Re II 221.426 nm и Re II 221.432 nm са повлияни от пречения в присъствието на Mo и Cu. Тези линии не са подходящи за определяне на рений в молибденови или медни концентрати.

Re II 227.522 nm, Re II 227.528 nm и Re II 227.534 nm са повлияни от пречения в присъствието на Fe и Ca и не могат да се използват като аналитични линии.

3.4. Оптимален избор на линии при определяне на рений в присъствието на матрични компоненти в молибденови и медни концентрати

Оптималният избор на линии при определянето на рений в присъствието на матрични компоненти в молибденови или медни концентрати (Таблица 1, Концентрации на матричните елементи в крайните разтвори) включва избор на най-чувствителни линии с минимални стойности на истинските граници на откриване (Таблица 2). В Таблица 2 са представени истинските граници на откриване ($ng \cdot ml^{-1}$) при определяне на рений в молибденови и медни концентрати с използване на всички компоненти на хиперфината структура HFS. Истинските граници на откриване са изчислени по Уравнение (1) и (2). Границите на откриване в чист разтворител са изчислени по Уравнение (3) и са представени за сравнение. Таблица 3 показва концентрацията на матричните елементи в крайния разтвор на пробата ($g \cdot ml^{-1}$) за различни типове концентрати след процедурата на микровълнова киселинна минерализация.



Таблица 3. Концентрации на матричните елементи в крайните разтвори ($\mu\text{g ml}^{-1}$) за молибденови и медни концентрати след микровълново разлагане на пробите

Матрични елементи	Концентрации на матричните елементи в крайните разтвори, $\mu\text{g ml}^{-1}$		
	CRM Molybdenum concentrate "CGL-202"	SRM 332 Copper concentrate	Меден концентрат - проба
Mo	1912	25.6	12
Fe	117	-*	480
Cu	68	1136	960
Al	104	-	43
Ca	11	-	8.6

*няма данни

Таблица 4. Избор на линии за определяне на рений в молибденови и медни концентрати

Аналитични линии, λ , nm	C_L , ng ml^{-1}	$C_{L \text{ true}}$ в разтвор, ng ml^{-1}	
		CRM Molybdenum concentrate "CGL-202"	Меден концентрат - проба
Re II 197.245	1.3	170	5.1
Re II 197.248	1.2	15	5.1
Re II 197.251	1.1	10	5.0
Re II 221.423	27*	6 350	264
Re II 221.426	1.5	13 123	335
Re II 221.431	1.8	160	460
Re II 227.522	1.9	26	95
Re II 227.528	24*	26	34
Re II 227.534	0.2	2.5	10

* ОН – пречене от ОН – връзки

В Таблица 4 е представен изборът на линии при определяне на рений в молибденови и медни концентрати. В колона 1 са дадени аналитичните линии (nm), Колона 2: Граница на откриване в чист разтвор (C_L , ng ml^{-1}), Колона 3: Истински граници на откриване ($C_{L \text{ true}}$, ng ml^{-1}) в присъствието на матричните компоненти за CRM Molybdenum concentrate „CGL-202“, Колона 4: Меден концентрат – проба представени в Таблица 3. Избраните интензивни линии в присъствието на молибденов концентрат са:

Re II 197.251 nm ($C_{L \text{ true}} = 10 \text{ ng} \cdot \text{ml}^{-1}$) и **Re II 227.534 nm** ($C_{L \text{ true}} = 2.5 \text{ ng} \cdot \text{ml}^{-1}$)

Избраните аналитични линии на рений в присъствието на меден концентрат са:

Re II 197.245 nm ($C_{L \text{ true}} = 5.1 \text{ ng} \cdot \text{ml}^{-1}$), **Re II 197.248 nm** ($C_{L \text{ true}} = 5.1 \text{ ng} \cdot \text{ml}^{-1}$)

Re II 197.251 nm ($C_{L \text{ true}} = 5.0 \text{ ng} \cdot \text{ml}^{-1}$), **Re II 227.534 nm** ($C_{L \text{ true}} = 10 \text{ ng} \cdot \text{ml}^{-1}$)

Резултатите показват, че границите на откриване в чист разтвор не могат да се прехвърлят директно като граници на откриване в присъствието на изследваните матрици.

3.5. Определяне на рений в медни и молибденови концентрати

Избраните аналитични линии и границите откриване по отношение на разтворените вещества при определянето на рений в медни и молибденови концентрати са представени в Таблицы 5 и 6. Таблиците съдържат резултатите от анализа на рений в сертифицирани стандартни материали съответно „SRM 332 - меден концентрат (Таблица 5), както и в SRM „CGL-202“ - молибденов концентрат (Таблица 6). Съдържанието на рений, определено чрез HR-ICP-OES, е представено чрез средни стойности $\bar{X}$ за $n = 6$ повторения, с изчислен доверителен интервал на средната стойност $\Delta\bar{X}$



при статистическа сигурност $P = 95\%$ и $f = n - 1 = 5$ степени на свобода. При прилагане на t-критерия критерия на Стюдент не са установени статистически значими различия между експериментално получените резултати и сертифицираните стойности (Таблицы 5 и 6, колони 4 и 6).

Таблица 5. Определяне на рений чрез ICP-OES, JY ULTIMA 2 в SRM 332 Copper concentrate с използване на процедурата на микровълнова киселинна минерализация

Избрани аналитични линии, λ , nm	$C_{L \text{ solid}} / \text{g t}^{-1}$	$C_{L \text{ true (solid)}} / \text{g t}^{-1}$	ICP-OES $X \pm \Delta X, \text{g t}^{-1}$	RSD, %	Сертифицирани стойности, g t^{-1}
Re II 197.251	0.50	1.25	9.96 ± 0.5	5	10.2
Re II 227.534	0.25	2.5	9.98 ± 0.5	5	10.2

Таблица 6. Определяне на рений с ICP-OES, JY ULTIMA 2 в CRM Molybdenum concentrate „CGL-202“, при микровълново киселинно разлагане

Избрани аналитични линии, λ , nm	$C_{L \text{ solid}} / \text{g t}^{-1}$	$C_{L \text{ true (solid)}} / \text{g t}^{-1}$	ICP-OES $X \pm \Delta X, \text{g t}^{-1}$	RSD, %	Сертифицирани стойности, $X \pm \Delta X, \text{g t}^{-1}$
Re II 197.251	0.50	2.5	490 ± 19	4	500 ± 70
Re II 227.534	0.25	0.60	495 ± 20	4	500 ± 70

Направено е сравнение на постигнатите граници на откриване при определянето на рений в CRM Molybdenum concentrate „CGL-202“, с два независими метода: 1. HR-ICP-OES [6] и 2. Рентгенова флуоресценция с пълно отражение (TXRF) [10]. Получените резултати позволяват оценка на ефективността на HR-ICP-OES и TXRF за постигане на ниски граници на откриване и идентифициране на най-подходящия подход за рутинен анализ или за прецизни научни измервания. Сравнението цели да оцени аналитичната чувствителност и селективност на двата метода при определянето на рений в сложни матрици, като се вземат предвид ефектите на спектралните пречения и влиянието на компонентите на матрицата.

Таблица 7. Сравнение на границите на откриване спрямо количеството твърда проба, $\mu\text{g g}^{-1}$, при определяне на рений в CRM Molybdenum concentrate „CGL-202“, чрез HR-ICP-OES [6] и чрез Рентгенова флуоресценция с пълно отражение (TRXRF) [10].

Граници на откриване по отношение на количеството твърда проба, $\mu\text{g g}^{-1}$		
елемент	HR-ICP-OES [6]	Рентгенова флуоресценция с пълно отражение (TRXRF) [10].
Re	0.63	6.0

4. Изводи

За определянето на рений в молибденови и медни концентрати е приложена оптично-емисионна спектрометрия с индуктивно свързана плазма (ICP-OES) с радиално наблюдение и честота на плазмата за възбуждане - 40,68 MHz, оборудвана със спектрометър с висока разделителна способност (спектрална ширина 5 nm).

Хиперфинната структура на най-интензивните линии на рения, наблюдавана при условия на висока разделителна способност, позволява използването на отделните компоненти като самостоятелни аналитични линии. Това дава възможност да се избягват спектралните пречения причинени от компоненти на матрицата.



Представени са сравнителни данни, получени при използване на два различни спектрометра, за стойностите за пречене от линии и крила на линии. Истинските граници на откриване, получени чрез HR-ICP-OES (40,68 MHz ICP) и Рентгенова флуоресценция с пълно отражение (TRXRF) при определяне на рений в CRM Molybdenum concentrate „CGL-202“ са сравнени. Резултатите демонстрират високата аналитична чувствителност и селективност на HR-ICP-OES, както и допълващия потенциал на TXRF при определянето на рений в сложни матрици като медни и молибденови концентрати.

Литература

- [1] Boumans P.W.J.M., Line coincidence tables for inductively coupled plasma atomic emission spectrometry, Pergamon, Oxford 1980 (1984).
- [2] Boumans P.W.J.M., A century of spectral interferences in atomic emission spectroscopy—can we master them with modern apparatus and approaches? Fresenius Z. Anal. Chem. 324 (1986) 397- 425. DOI 10.1007/BF00474112
- [3] Boumans P.W.J.M., Line interference, line selection, and true detection limit in inductively coupled plasma emission spectrometry, Spectrochim. Acta Part B 45 (1990) 1121-1138, [http://dx.doi.org/10.1016/0584-8547\(90\)80175-I](http://dx.doi.org/10.1016/0584-8547(90)80175-I).
- [4] Harrison G.R., M.I.T. Wavelength Tables, M.I.T. Press, Cambridge, MA, 1969.
- [5] <https://www.horiba.com/deu/scientific/technologies/inductively-coupled-plasma-optical-emission-spectroscopy-icp-oes/excitation-source/>
- [6] Karadjov M., N. Velitchkova, O. Veleva , S. Velichkov, P. Markov, N. Daskalova, Spectral interferences in the determination of rhenium in molybdenum and copper concentrates by inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES), Spectrochim. Acta Part B 110 (2016) 76-82, <https://doi.org/10.1016/j.sab.2016.03.011>
- [7] Kim H. S., J. S. Park, S. Y. Seo, T. Tran, and M. J. Kim, "Recovery of Rhenium from a Molybdenite Roaster Fume as High Purity Ammonium Perrhenate," Hydrometallurgy 156 (2015): 158–164, <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2015.06.008>.
- [8] Lunk H. J., D. V. Drobot, and H. Hartl, "Discovery, Properties and Applications of Rhenium and Its Compounds," ChemTexts 7, no. 1 (2021): 6, <https://doi.org/10.1007/s40828-020-00123-w>.
- [9] Maj P., R. Sitek, J. Ciftci, B. Adamczyk-Cieslak, A. Tchorz, and P. Wisniewski, "Impact of Rhenium Addition on Microstructural Characteristics and Mechanical Performance in Powder Bed Fusion-Laser Beam Produced Inconel 625 Alloy," Archives of Civil and Mechanical Engineering 24, no. 2 (2024): 103, <https://doi.org/10.1007/s43452-024-00901-0>.
- [10] Mitsiev, Juri H. Jordanov, Metody G. Karadjov, Determination of rhenium in molybdenum concentrate by slurry S. E. sampling total reflection X-RAY fluorescence, Compt. rend. Acad. bulg. Sci., 69 (2016) 1557-1562
- [11] Srivastava R. R., M. Kim, J. Lee, M. K. Jha, and B. S. Kim, "Resource Recycling of Superalloys and Hydrometallurgical Challenges," Journal of Materials Science 49, no. 14 (2014): 4671–4686, <https://doi.org/10.1007/s10853-014-8219-y>.
- [12] Zaidel A.N., V.K. Prokofev, S.M. Raikii, V.A. Slavnyi, E.Ya. Shreider, Tables of spectral lines, IFI / Plenum, New York, 1970.



ВЪРХУ ДЕБАТА ЗА МЯСТОТО НА АБИОГЕННИЯ МЕТАН В ПРИЛОЖНАТА ГАЗОВА ГЕОЛОГИЯ

доц. д-р Йордан Йорданов

РЕЗЮМЕ

Паралелно с органичната хипотеза и в резултат на огромния прогрес на космологията, теоретичната петролна геология обърна внимание и на абиогенната хипотеза за произхода на петрола, предложена още в 16 век от Georgius Agricola и доразвита от серия западни и руски специалисти през 19 и 20 век. Понастоящем е установено че абиогенен метан присъства в голяма част от природните газови смеси, което преоткрива дискусията за произхода на въглеводородните газове в земната кора. Целта на настоящата работа е да предложи авторско становище към дебата за ролята на абиогенната генетична линия, както в когнитивен план, така и в областта на приложната геология. Основата на становището е изградена на базата на достъпни публикации и монографии, както и личната практика на автора като петролен геолог.

Приведените данни и техният анализ показват, че независимо от обширните обеми търсещи и добивни работи на петролната индустрия, към настоящия момент все още не са установени стопански значими автономни локализации на абиогенен метан. По данни от изотопния профил на газовите смеси от установени газови находища, абиогенният метан в глобален план не превишава 1 %. Пресметнатите обеми са свързани главно с два базисни генерационни процеса:

- а) в магматична, алкална, високо температурна среда ($>150^{\circ}\text{C}$), типична за средноокеански хребети, вулкански структури и хипертермални полета по реакцията на P.Sabatier и/или Fischer-Tropsch и
- б) геоложка среда, в която метанът е продукт от взаимодействие на газова и водна фаза със скалната маса, при температура $<100^{\circ}\text{C}$, в условията на каталитична реакция, с катализатори от минерално или самородно присъствие.

Упоменатите процеси позволяват да се извършат глобални балансови пресмятания за генериран абиогенен метан от перспективни геоложки среди със стойности от незначителни до **$22,4 \cdot 10^9 \text{ m}^3/\text{a}$** , което отрежда подчинена роля на този ресурс, без да се изключва възможността бъдещи изследвания да разкрият нови перспективи. В настоящия момент не са налични специализирани изследвания за проявления от абиогенен метан в България, но редица геотермални зони в които са регистрирани аномални емисии от водород, радон, хелий и др., могат да бъдат предмет на теренни работи.

При изготвяне на ръкописа е използван ИИ.

