



ПРИЛОЖЕНИЕ НА ДИСТАНЦИОННИ ИЗСЛЕДВАНИЯ И ГИС ЗА УСТОЙЧИВО МИННО ДЕЛО: ЕКОЛОГИЧЕН МОНИТОРИНГ В СЪОТВЕТСТВИЕ С SDGS И ESG ПРИНЦИПИТЕ

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:

This study examines the application of remote sensing and Geographic Information Systems (GIS) for sustainable mining, specifically in environmental monitoring aligned with the Sustainable Development Goals (SDGs) and the principles of Environment, Social, and Governance (ESG). SDGs and ESG are essential in mining because they guide companies to minimize environmental impacts, promote social responsibility, and ensure sustainable resource management. The report reviews successful global examples that demonstrate the potential of remote sensing and GIS tools for rapid and cost-effective environmental monitoring. These technologies offer a valuable pathway for the mining industry to balance economic growth with environmental stewardship and social responsibility.

КЛЮЧОВИ ДУМИ: SDGs, ГИС, дистанционни изследвания, ESG, екология, мониторинг на околната среда, устойчиво развитие, минна дейност

ВЪВЕДЕНИЕ

Целите за устойчиво развитие/Sustainable Development Goals (SDGs), приети от Организацията на обединените нации (ООН) през 2015 г., представляват глобална рамка от 17 цели, насочени към справяне с належащи предизвикателства като бедност, неравенство, влошаване на околната среда и изменение на климата до 2030 г. През последните години те оказват значително влияние върху правителствените политики, корпоративните стратегии и инвестиционните решения в световен мащаб. Много компании, включително тези в минния сектор, са ги включили в своите инициативи за корпоративна социална отговорност и устойчивост, като съобразяват дейността си с по-широките глобални усилия за устойчивост. Политиците също така интегрират SDGs в националните планове за развитие и екологичните разпоредби, като допълнително засилват тяхната актуалност. [8]

По подобен начин критериите за Околна среда, социални въпроси и управление/Environment, Social, and Governance (ESG) се очертават като важен набор от стандарти за оценка на етичното въздействие и устойчивостта на дадена компания. ESG съображенията обхващат екологичната отговорност, социалното равенство и добрите управленски практики. Влиянието им нараства бързо, като институционалните инвеститори и финансовите организации все повече дават приоритет на компаниите, които демонстрират силни ESG резултати, признавайки, че тези компании са по-устойчиви на рискове и често постигат по-добри дългосрочни финансови резултати. Регулаторните промени, особено в Европейския съюз, също така налагат по-строго ESG отчитане и прозрачност.

През последните години географските информационни системи (ГИС) и технологиите за дистанционни изследвания се развиват все по-бързо, водени от подобренията в сателитните изображения, безпилотните летателни системи (БЛС) и изкуствения интелект. Те са от съществено значение за наблюдение на промените в околната среда, управлението на природните ресурси и подкрепата на устойчивото развитие. В минната индустрия ГИС и дистанционните изследвания позволяват по-ефективни планирания на земеползването, мониторинг на биоразнообразието и спазване на екологичните стандарти съгласно SDGs и ESG принципите. В резултат на това тези технологии сега са от решаващо значение за постигане на целите за устойчивост и подобряване на процесите на вземане на решения в световен мащаб.

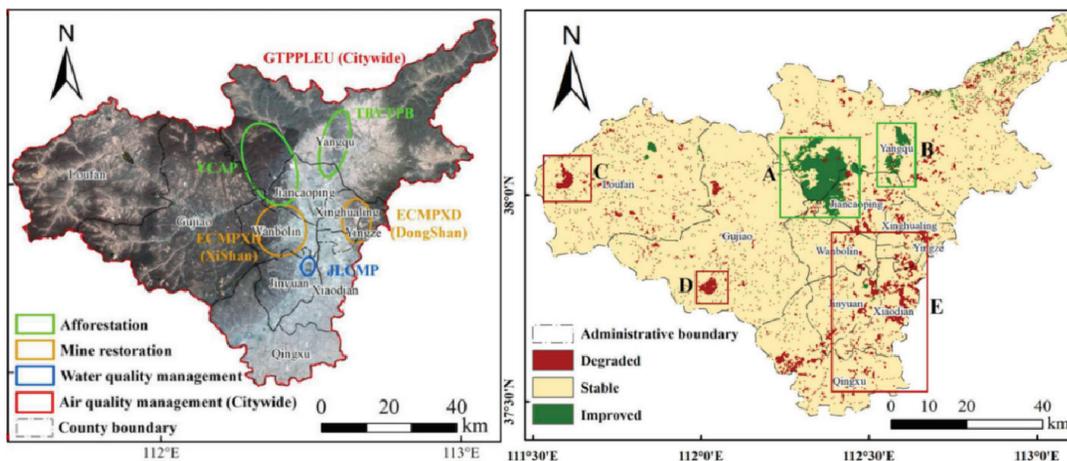
ОСНОВНА ЧАСТ

Тази част представя преглед на успешни глобални примери, в които дистанционните изследвания и ГИС технологиите са били приложени в подкрепа на устойчивото минно дело. Фокусът е върху практиките за мониторинг на околната среда, съобразени с SDGs и принципите на ESG.

✓ Тайюан, Китай – Мониторинг на възстановяването, базиран на SDGs

Yuan et al. (2023) представят проучване, оценяващо екологичното възстановяване на Тайюан, исторически индустриален и минно-интензивен град в Китай, използвайки техники за дистанционни изследвания в подкрепа на SDGs. Те констатират, че индустриалното развитие и най-вече добивът на въглища са навредили на околната среда в региона. Поради тази причина авторите са създали Индекс на състоянието на растежа на растителността (Vegetation Growth Condition Index - VGCI), за да обхванат възстановяването на растителността с течение на времето. Те интегрират множество показатели, включително опазване на водите (SDG 6.3.2), качество на въздуха (SDG 11.6.2) и опазване на екосистемите (SDG 6.6.1, 15.1.1, 15.3.1, 15.4.2), създавайки многоизмерна система за оценка.

Използвайки сателитни данни, в изследването е приложен VGCI към множество инициативи за екологично възстановяване. Техният анализ демонстрира значителни подобрения в качеството на водата, състоянието на въздуха, горската покривка и по-специално растителността върху рекултивирани минни обекти. Тези положителни тенденции съвпадат с изпълнението на екологични проекти в Тайюан (фиг. 1). Авторите заключават, че при комбинация на VGCI и показатели, съобразени с ЦУР, се формира стабилна рамка за оценка на екологичното възстановяване, която може да приложена в градове с наследствени минни и тежки индустрии.



Фиг. 1 Карта на прилагани екологични проекти в Тайюан и Карта на деградацията и възстановяването на земята в Тайюан от 2010 до 2020 г. [2]

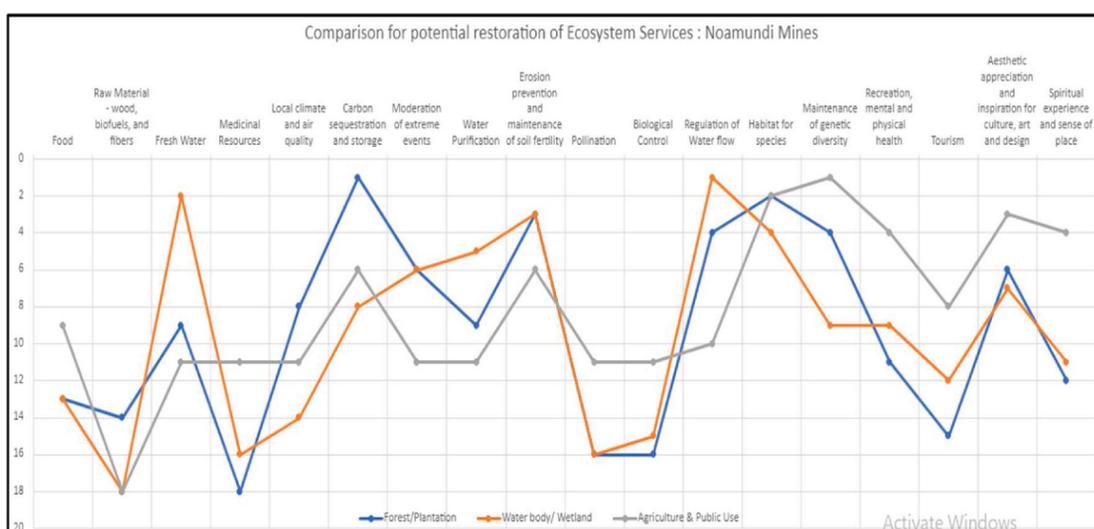
Изследването на Yuan et al. (2023) предлага убедителен, базиран на данни модел за оценка на екологичното възстановяване. Чрез демонстриране на рекултивация върху бивши минни терени и използване на индикатори, съобразени със SDGs, статията предоставя практическа методика за мониторинг на възстановяването с помощта на ГИС и дистанционни изследвания. Минните компании могат да адаптират този подход, за да подобрят своите ESG показатели и да отчетат напредъка си в устойчивото управление на околната среда по прозрачен и стандартизиран начин.

✓ Възстановяване на екосистеми - Noamundi и West Bokaro, Индия

Изследването на Husain et al. (2024) анализира намеренията за възстановяване на екосистемните услуги чрез изпълнение на планове за управление на биологичното разнообразие в два минни обекта в Индия - желязната мина Noamundi и въглищната мина West Bokaro Colliery. Те оценяват (фиг. 2) колко добре тези планове допринасят за изпълнението на Цел 15 от SDGs. Използват метод на



оценяване, който измерва броя и потенциала на приложените „превантивни мерки“ спрямо конкретни екосистемни услуги - улавяне на въглерод, контрол на ерозията, подобряване на местообитанията и други. Целевите площи за възстановяване са над 1019 ха в Noamundi (91,9 % се преобразуват в гори, влажни зони, водоеми и малки публични пространства и земеделски участъци) и 1740 ха в West Bokaro с подобен подход. Установено е, че залесяването и създаването на нови горски масиви дават най-висок принос - засилване на въглеродните поглъщания, стабилизиране на ерозията, осигуряване на местообитания и запазване на биологичното разнообразие. Влажните зони, макар и по-малки по площ, оказват важна роля за регулиране на водните потоци, доставка и пречистване на прясна вода, както и допълнително предотвратяване на ерозия. Разпределянето на земеделски и публични терени има умерено, но значимо въздействие върху плодородието на почвите и качеството на въздуха, а културните услуги (възможности за отдих и духовна стойност) са оценени като съществени, макар и с по-нисък приоритет спрямо останалите функции.



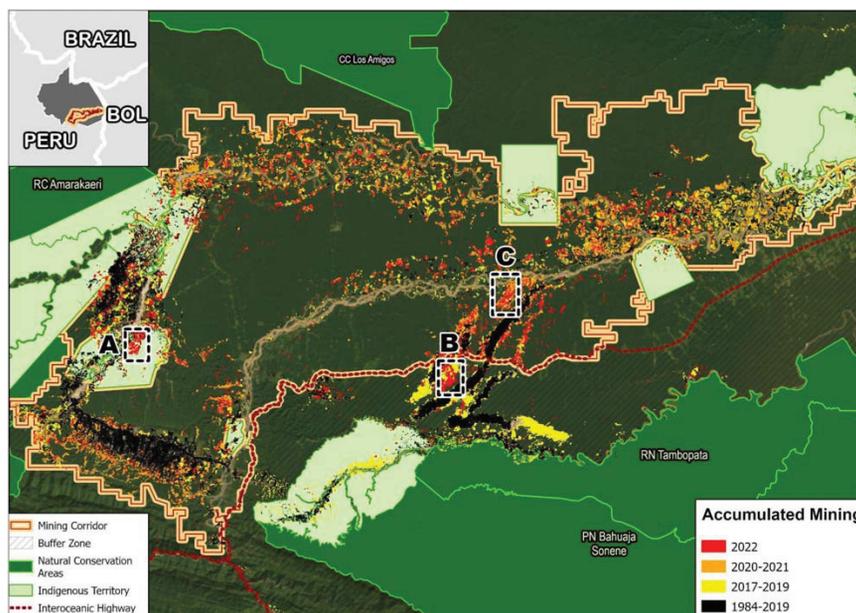
Фиг. 2 Сравнение на потенциалното възстановяване на екосистемните услуги въз основа на вида на района, в който е възстановена деградиралата земя - Noamundi [3]

Това изследване е важно, защото се фокусира пряко върху рехабилитацията на терени, засегнати от минното дело, и предлага конкретен инструментариум за оценка на екологични резултати. Използваната методология включва картографиране на територии, идентифициране на земеползване и оценка на екосистемните услуги. Тя е пряко свързана с ГИС и дистанционните изследвания, тъй като те позволяват пространствена визуализация и мониторинг на динамиката на възстановяваните площи. Като авторите препоръчват да се интегрират също сателитни изображения и ГИС слоеве и да се анализират времеви серии за по-точна оценка и валидиране на възстановителните мерки.

✓ Предупреждения в почти реално време за незаконен добив на злато в Амазония

Статията на Veserra et al. (2024) представя нова методология за създаване на предупреждения почти в реално време при изсичане на гори, причинено от незаконен добив на злато. Изследването е проведено в региона Madre de Dios в Югоизточна Амазония, където малки незаконни мини без лиценз са основната причина на обезлесяването на гори, национални паркове и територии на индиански общности. Методът използва времева серия от данни от Sentinel-1 SAR от февруари до декември 2022 г., обработвани чрез Google Earth Engine и анализирани с интелигентния алгоритъм Omnibus Q-test на Morton Canty за откриване на промени. Получените резултати са валидирани с помощта на оптични изображения с висока резолюция от Planet NICFI и PlanetScope, а общата точност на метода за разпознаване на загуба на горска покривка достига впечатляващите 99,98 %.

Резултатите показват, че системата успешно идентифицира местоположение и време на изсичане, обхващайки зони от по-малко от 1 ха. Създадена е публична уеб платформа, наречена RAMI (Radar Mining Monitoring), която визуализира предупреждения (фиг. 3) и подпомага правоприлагащите органи при насочване на ресурси и персонал за незабавни операции срещу незаконните златни мини. Платформата вече е интегрирана с Operation Mercury - национална инициатива на Перу за борба с незаконната добивна дейност. Тя също изпраща месечни доклади за горещи точки на незаконен добив. Тази методология демонстрира ефективното следене на обезлесяването и доказва полезността на отворените SAR данни при мониторинг в периоди с интензивно облачно покритие, когато оптичните изображения са по-малко достъпни. SAR сензорите проникват през облаците и дават информация за текстура и влага, което ги прави идеални за динамичен мониторинг. Sentinel-1 прави това с резолюция от 10 м, използвайки двойна поляризация (VV+VH).



Фиг. 3 Предупреждения за добив в територии на коренното население в национални резервати [1]

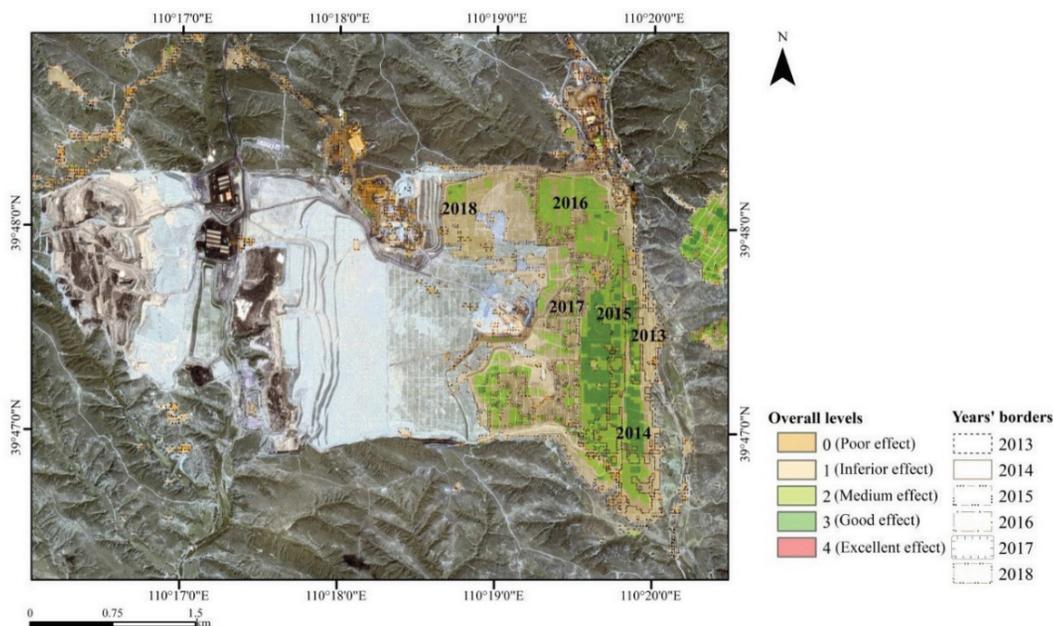
Приложението на този подход показва как дистанционните изследвания и ГИС могат да бъдат мощни инструменти в борбата с незаконните дейности в минната индустрия, особено в труднодостъпни и защитени територии. RAMI позволява пространствен анализ на минните дейности, проследяване на тяхното разширение и времевите им динамики, основавайки се на данни от SAR и ГИС. Представената методика не само идентифицира незаконните дейности, но подпомага и стратегическото планиране в съответствие с екологичните стандарти и глобалните цели за устойчиво развитие.

✓ Мониторинг на рекултивирани терени: Казус във Вътрешна Монголия, Китай

Изследването на Wang et al. (2021) използва дистанционни изследвания за оценка на възстановяването на растителността в минен регион в Китай. Авторите се фокусират върху това как растителната покривка се променя при рекултивация на терени, засегнати от минна дейност. Те използват сателитни данни от Sentinel-2 и Landsat, прилагайки спектралния индекс GRNDVI (Green Red Normalized Difference Vegetation Index) за класифициране на състоянието на растителността през 2016 и 2018 г., с точност между 91 % и 94 %. Чрез анализ на времеви серии авторите наблюдават тенденции в растежа и възстановяването, като установяват, че въпреки след приетите екологични мерки за рекултивация има забележимо възстановяване на зелената покривка. Използването на GRNDVI позволява ясно разграничаване между зони с добра, умерена и лоша растителност и проследяване на тяхното развитие във времето. Резултатите (фиг. 4) показват увеличение на площите с гъста растителност и намаляване на откритите участъци, което е показателно за успешни

възстановителни мерки. Тези наблюдения са валидирани чрез полеви данни и допълнителен мониторинг.

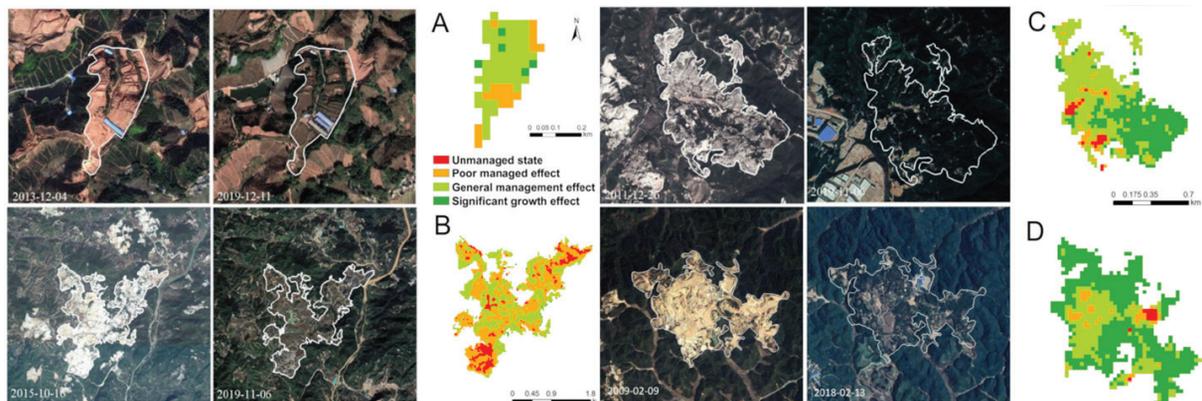
Статията показва как ГИС и дистанционните изследвания се интегрират в анализа за проследяване на въздействията на рекултивационните проекти в минната индустрия. Тези методи позволяват картографиране на промените в растителната покривка в пространството и времето, което улеснява планирането на възстановителните действия и оценката на тяхната ефективност. Това е постигнато чрез създаване на GRNDVI карти, които в ГИС се визуализират, анализират и сравняват с предишни периоди. Предложеният метод е научно обоснован и ефективен, като може да се прилага в различни минни региони благодарение на гъвкавостта на дистанционните изследвания и ГИС анализа.



Фиг. 4 Общи ефекти от възстановяването на растителността от 2013 до 2018 г. [9]

✓ **Мониторинг на добива и възстановяването след добив на редкоземни елементи - Южен Дзянси, Китай**

Изследването на Xie et al. (2020) представя иновативен метод за проследяване както на добива, така и на възстановителните действия в откритите залежи на редкоземни елементи в южен Дзянси. Авторите предлагат нов набор от Индикатори за оценка на минната дейност и възстановяването (Mining and Restoration Assessment Indicators - MRAs), които комбинират традиционни вегетационни индекси като NDVI, SAVI и GDVI с допълнителни биофизични параметри – албедо, яркост (tasseled cap brightness) и температура на повърхността (LST), изведени от многовремевии серии от Landsat изображения между 1988 и 2019 г. Те показват, че тези MRAs са по-чувствителни от NDVI и други индекси, особено в области с ниска растителна покривка, като позволяват откриване на по-фини промени в екологичния статус на териториите. Използването на тези индикатори разкрива траекторията на разширяване на минните площи до 2010 г., а след това и възстановяването на растителността благодарение на възстановителни мерки, въведени след 2010 г. (фиг. 5). Обхванати са седем окръга в региона и са анализирани над 1 158 мини, обхващащи около 66,3 км². В заключение, авторите демонстрират, че чрез интегриране на вегетационни индекси и повърхностни биофизични параметри в единни индикатори, може да се получи прецизен мониторинг на въздействията от минната дейност и ефективността на възстановителните мерки. Това носи значителни ползи за пространствения и времеви анализ на минната среда.

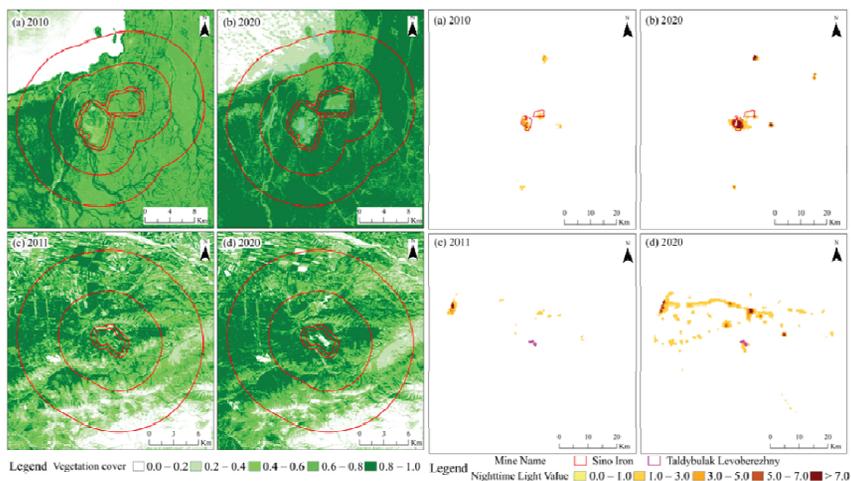


Фиг. 5 Сравнение на получените резултати от етапите на добив до възстановяването [7]

Изследването им разработва методи за мониторинг на открит рудодобив от редкоземни елементи, използвайки ГИС и дистанционни изследвания. Данните от Landsat се обработват и се използват за картографиране за визуализация на минните зони, промяната в земеползването и състоянието на растителността във времето. MRAls индикаторите, използвани в статията, осигуряват серия от карти на територията за различни периоди от време, като по този начин обединяват информация за растителност, албедо и температура, и позволяват на минни оператори и регулатори да оценяват възстановителните процеси ясно и количествено.

✓ **Дистанционно наблюдение на екологично-икономическите въздействия - китайски минни проекти извън Китай**

Статията на Jiang et al. (2022) представя системен мониторинг на екологични и социално-икономически ефекти от китайски минни проекти извън Китай - Sino Iron в Австралия и Taldybulak Levoberezhny в Киргизстан. Те използват мултиспектрални сателитни изображения от Landsat и данни за нощна светлина (NTL) от DMSP-OLS и NPP-VIIRS за периода 2000-2020 г. Интегрираният подход позволява извличане и картографиране на различни типове повърхности - открита кариера, отпадъчни депа, пътища, водни обекти и растителност, чрез визуална интерпретация и автоматизирани алгоритми. Данните от Landsat са използвани за количествено проследяване на промените в растителната покривка, празните терени и минните площи, а данните от нощните светлини проследяват икономическа дейност и въздействието върху социално-икономическата среда (фиг. 6). Повишаването на светлините корелира с икономическото развитие в региона, а точността на картографирането достига над 95% за Sino Iron и около 90% за Taldybulak. Анализът показва, че въпреки минната дейност екологичните щети върху растителността и почвата са ограничени и са въведени успешни мерки за защита и възстановяване, без да се нарушава екологичният баланс.



Фиг. 6 Разпределение на растителната покривка и на нощното осветление в минните райони за различни периоди от време: a,b - Sino Iron (Австралия) и c,d - Taldybulak Levoberezhny (Киргизстан) [6]



Това изследване анализира открити рудници в международен план и оценява екологични и икономически последици, предизвикани от добива в минната индустрия. Данните от сателитите и от нощната светлина осигуряват количествени времеви анализи за картографиране на промените в земеползването, изображенията с висока разделителна способност позволяват визуална проверка на възстановителните мерки, а ГИС синтезират всички тези данни в серии от карти. Методологията позволява проследяване на въздействията от минната дейност и оценка на ефективността на екологичните мерки. Така се изгражда пространствено-времеви модел за мониторинг, който подпомага планирането, проследяването и оптимизирането на въздействието на добивната дейност спрямо екологичните и икономическите цели. Докладът демонстрира как тези съвременните подходи могат да подкрепят устойчивото и отговорно управление на минните райони, съчетавайки екологични, икономически и технологични аспекти.

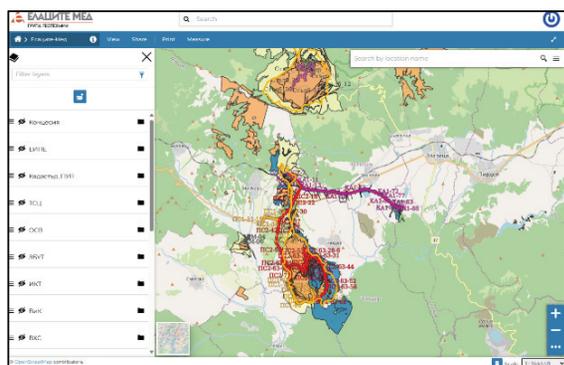
✓ Приложение на ГИС и дистанционни изследвания в „Елаците-Мед“ АД

- Извършване на рекултивация с Безпилотна летателна система (БЛС)

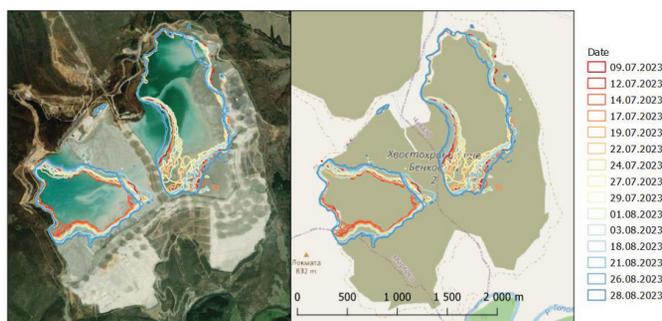
През 2023 г. е извършено успешно затревяване на 25 дка от източното насипище чрез използване на БЛС, като това е първа такава операция в България. Територията включва два участъка с наклон на откосите 37° и височина до 100 м, което ограничава достъпа и прави терена труден за прилагане на традиционни рекултивационни методи. Идеята е иновативна, тъй като обикновено БЛС за земеделски цели се прилагат за пръскане и торене на култури, а в случая са използвани за разпръскване на семена върху хумусна основа, положена върху неравния терен. Специално подбраната тревна смес е пригодена за високи надморски нива, осигурявайки успешна залесителна покривност. По този начин се цели ефективна биологична рекултивация на зони, пострадали от минна дейност. Този проект е част от дългосрочната екологична програма на „Елаците-Мед“ за възстановяване и подобрене на околната среда, съгласно ангажиментите за устойчивост. [5]

- Изграждане на Географска информационна система и уеб портал

В „Елаците-Мед“ АД активно се разработва ГИС, произтичаща от необходимостта за стандартизиран подход при събирането на пространствени данни и съхраняването им в сигурна среда в подходящ формат. Тази система интегрира пространствени данни от различни източници, включително сателитни изображения, данни от заснемания с БЛС и от полеви измервания, дигитализирани архивни данни и други, за да подпомогне вземането на решения в реално време. Системата е изградена изцяло със софтуери с отворен код. Важна част от нея е и интерактивният уеб портал, който осигурява лесен достъп до пространствена информация във всички отдели (фиг. 7). Предназначението на създаваната ГИС е да осигури ръководния и техническия състав с точна и актуална информация за точното местоположение и характеристиките на обектите от кадастъра, плановете за управление, защитените зони, инженерната инфраструктура, производствените съоръжения и други налични данни за дейността на „Елаците-Мед“ АД.



Фиг. 7 Уеб ГИС портал



Фиг. 8 Граници между утаечните езера и плажовете



- Дистанционни изследвания за мониторинг на хвостохранилище „Бенковски-2“

Направено е експериментално изследване през 2023 г., което представя иновативен подход за мониторинг на хвостохранилището „Бенковски-2“ чрез мултиспектрален сателитен анализ. За целите на проучването са използвани само свободно достъпни данни от мисията Sentinel-2 и софтуери с отворен код (QGIS, SNAP). Целта е проследяване на границите между утаечните езера и мокрия пясък в обекта (фиг. 8), като се прилагат спектрални индекси (NDWI и WRI). Като резултат се получава ясно очертаване на тези граници и количествени данни за промяната в площта на утаечните езера в отделните секции на хвостохранилището. Чрез този метод се улеснява ранното откриване на рискове, ефективното управление на водите и поддържането на структурната безопасност на съоръжението. Подходът е икономически достъпен и подпомага устойчивото управление на минните отпадъци.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В условията на засилен обществен и институционален натиск за устойчиво развитие, съчетано с изискванията на Целите на ООН за устойчиво развитие (SDGs) и ESG принципите, прилагането на дистанционни изследвания и ГИС технологии в минната индустрия се очертава като особено ефективен подход за екологичен мониторинг и управление на въздействието. Анализът на международни казуси от Китай, Индия, Перу, Австралия и Киргизстан показва, че съвременните сателитни и геопространствени технологии позволяват не само прецизно картографиране на екологични щети, но и оценка на възстановителните мерки във времето. Те подпомагат проследяване на растителната покривка, ерозията, водните ресурси и биоразнообразието чрез вегетационни индекси, биофизични параметри и автоматизирани алгоритми за откриване на промени.

В допълнение, интеграцията на отворени данни, изкуствен интелект и облачни платформи като Google Earth Engine прави възможно бързото откриване на незаконна дейност, като в случая на Амазония, и повишава капацитета на регулаторните органи за навременна реакция. Многообразието от приложени методики – от оценка на растителността и екосистемните услуги, до пространствен анализ на икономическата активност чрез нощна светлина – доказва, че ГИС и дистанционните изследвания вече не са само научни инструменти, а ключови компоненти от стратегиите за корпоративна устойчивост и отговорно управление на природните ресурси.

Следователно, устойчивото минно дело не може да бъде постигнато без високотехнологични решения за мониторинг и анализ. За да бъде успешна трансформацията на сектора, е необходимо минните компании, институциите и научната общност да работят съвместно за внедряване и усъвършенстване на геопространствени системи, които не само следят въздействието върху околната среда, но и насърчават възстановяване, прозрачност и отговорност спрямо обществото и бъдещите поколения.

ИЗТОЧНИЦИ

1. Becerra, M., Villa, L., Nicolau, A.P., Herndon, K.E., Novoa, S., Martín-Arias, V., Dyson, K., Walker, K., Tenneson, K. and Saah, D. (2025), “Creating near real-time alerts of gold mining in the Peruvian amazon using synthetic aperture radar”, *Environmental Research Communications*, Vol. 6 No. 12, p. 25022. <https://doi.org/10.1088/2515-7620/ad937e>
2. Bo Yuan, Kun Jia, Mu Xia & Wenwu Zhao (2023) Using remote sensing data to evaluate the ecological restoration in Taiyuan from the SDGs perspective, *International Journal of Digital Earth*, 16:2, 4621-4645, DOI: 10.1080/17538947.2023.2279684
3. H.J. Husain, X. Wang, S. Pirasteh, D. Mafi-Gholami, B. Chouhan, M.L. Khan, M. Gheisari, Review and assessment of the potential restoration of ecosystem services through the implementation of the biodiversity management plans for SDG-15 localization, *Heliyon* 10 (8) (2024) e29877, <https://doi.org/10.1016/J.HELİYON.2024.E29877>.
4. <https://www.bloomberg.com/professional/insights/markets/esg-assets-may-hit-53-trillion-by-2025-a-third-of-global-aum/>
5. <https://www.geotechmin.com/elatsite-med-zatrevi-25-dka-sas-selskostopanski-dron/>



6. Jiang, Y.; Lin,W.;Wu, M.; Liu, K.; Yu, X.; Gao, J. Remote Sensing Monitoring of Ecological-Economic Impacts in the Belt and Road Initiatives Mining Project: A Case Study in Sino Iron and Taldybulak Levoberezhny. *Remote Sens.* 2022, 14, 3308. <https://doi.org/10.3390/rs14143308>
7. L. Xie et al., "Mining and Restoration Monitoring of Rare Earth Element (REE) Exploitation by New Remote Sensing Indicators in Southern Jiangxi, China," *Remote Sensing*, vol. 12, no. 21, 2020, doi:10.3390/rs12213558
8. United Nations – Official website - <https://sdgs.un.org/2030agenda>
9. Wang,W.; Liu, R.; Gan, F.; Zhou, P.; Zhang, X.; Ding, L. Monitoring and Evaluating Restoration Vegetation Status in Mine Region Using Remote Sensing Data: Case Study in Inner Mongolia, China. *Remote Sens.* 2021, 13, 1350. <https://doi.org/10.3390/rs13071350>