МЕТОДИКА ЗА МЕЖДИНЕН ЕКОЛОГИЧЕН МОНИТОРИНГ И ОЦЕНКА НА ЗДРАВНИЯ СТАТУС НА ВЛАЖНИТЕ ЗОНИ: КОНЦЕПТУАЛНА РАМКА

Камелия Радева

Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
e-mail: Kamelia.Radeva@space.bas.bg

Ключови думи: *Междинен екологичен мониторинг, здравен статус, квази-мониторинг, влажни зони, аерокосмически данни, Sentinel-2*

Резюме: *Настоящото изследване предлага научно обоснована универсална концептуална методика за междинен екологичен мониторинг (мМЕМ), насочена към оперативен мониторинг на здравния статус на влажните зони. В условията на интензивни антропогенни въздействия и глобални климатични аномалии, използването на традиционните методи за мониторинг показват критични дефицити. Основният им недостатък е значителният времеви интервал между теренните пробонабирания, в рамките на който уязвимите подсистеми могат да претърпят структурен колапс. Иновативна концепция за аерокосмически „квази-мониторинг“ допринася значително за запълване на този методологичен вакуум. Тя интегрира мултиспектрални дистанционни изследвания и биофизични показатели в динамична функция за изчисляване на интегрален Индекс за здравен статус на влажната зона (WHSI). Предложената методика позволява математическо възстановяване на липсваща информация за определени времеви интервали – изискване, което е залегнало като задължително в националните законодателства, но често остава неизпълнено поради ресурсни ограничения. Приложимостта и оперативното поведение на разработения теоретичен модел са демонстрирани чрез симулационни количествени сценарии на комбиниран екологичен натиск (културна еутрофикация, засушаване и нерегулирано водовземане). Резултатите категорично доказват, че мМЕМ функционира като високочувствителна система за ранно предупреждение свързано с развитието на влажната зона. Нейното прилагане налага гъвкави, адаптивни изменения в регулярния мониторингов план на контролните органи с цел последваща теренна валидация. По този начин се гарантира обективност, непрекъснатост на времевите серии и надеждност на крайната оценка на екосистемите.*

METHODOLOGY FOR INTERIM ENVIRONMENTAL MONITORING AND HEALTH STATUS ASSESSMENT OF WETLANDS: A CONCEPTUAL FRAMEWORK

Kamelia Radeva

Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: Kamelia.Radeva@space.bas.bg

Keywords: *Interim environmental monitoring, Ecosystem health, Quasi-monitoring, Wetlands, Satellite and airborne data, Sentinel-2*

Abstract: *The present study proposes a scientifically grounded, universal conceptual methodology for interim environmental monitoring (iEMM), aimed at operational monitoring of wetland health status. Under conditions of intensive anthropogenic impacts and global climate anomalies, the use of traditional monitoring methods reveals critical deficits. Their primary disadvantage is the significant time interval between field samplings, within which vulnerable subsystems can undergo structural collapse. The innovative concept of aerospace "quasi-monitoring" contributes significantly to filling this methodological vacuum. It integrates multispectral remote sensing and biophysical indicators into a dynamic function to calculate an integrated Wetland Health Status Index (WHSI). The proposed methodology allows for the mathematical reconstruction of missing information across specific time intervals – a requirement mandated by national legislation but frequently unfulfilled due to resource constraints. The applicability and operational performance of the developed theoretical model are demonstrated through simulated quantitative scenarios of combined ecological pressures (cultural eutrophication, drought, and unregulated water extraction). The results conclusively prove that iEMM functions as a highly sensitive early warning system regarding wetland development. Its implementation necessitates flexible, adaptive adjustments to the regular monitoring plans of regulatory bodies for subsequent field validation. This ensures objectivity, continuity of time series, and reliability in the final ecosystem assessment.*

Въведение

Екологичният мениджмънт и дългосрочното опазване на влажните зони – обхващащи блата, торфища, речни делти, лимани и крайбрежни лагуни – представляват едно от най-сериозните предизвикателства пред съвременната приложна екология. Тези територии покриват едва около 6% от глобалната земна повърхност, но изпълняват ролята на критични биоклиматични регулатори, хидроложки буфери и биоразнообразни хотспотове, концентриращи над 40% от световната флора и фауна [1]. Независимо от незаменимите им екосистемни услуги обаче, над 35% от световните влажни зони са деградирали или напълно изчезнали от 1970 г. насам под влияние на урбанизацията, интензивното земеделие и засушаванията.

Основен институционален и научен проблем в управлението на тези зони е времевият и информационен вакуум, възникващ между мащабните, многогодишни държавни мониторингови програми. Повечето национални законодателства, транспониращи международни директиви [2, 3], изискват детайлни екологични изследвания. Поради високата цена и организационната сложност на теренните пробонабирания обаче, тези одити се провеждат на големи времеви интервали (често веднъж на няколко години или в най-добрия случай двукратно в рамките на една вегетационна година). Тъй като влажните зони се характеризират с екстремна хидроложка и биологична динамика, екологични нарушения, възникнали в тези празни прозорци, остават напълно невидими за официалната статистика.

Настоящата работа предлага научно-приложно решение на този проблем чрез изграждането на Методика за междинен екологичен мониторинг (мМЕМ) [4]. Основното предимство на мМЕМ е способността ѝ да формира реална, динамична и непрекъсната оценка за състоянието на екосистемите. Тя постига това чрез анализиране на динамиката на промяната на екосистемата чрез изследване на съответни индикатори за оценка и въздействие на промени в и върху процесите, протичащи в тях. С помощта на мМЕМ на базата на аерокосмически данни се възстановява липсваща информация за определен времеви интервал, който е задължителен при прилагане на методиките за извършване на регулярен мониторинг, съгласно националното законодателство на всяка страна.

В този смисъл мМЕМ се дефинира като прилагане на иновативен „квази-мониторинг“. При него резултатите от оценка на състоянието на екосистемите се осигуряват чрез използване на времеви серии с много по-висока честота от тази на стандартната методика за извършване на регулярен мониторинг. Настоящата концепция стъпва на принципа, че аерокосмическите данни могат и трябва да бъдат валидирани от предшестващи или последващи теренни измервания. Получената по този начин междинна оценка налага гъвкаво изменение на методиката за регулярен мониторинг – когато спътниковите данни показват, че в екосистемата има нарушения, контролните органи е необходимо да предприемат навременни и адекватни мерки, включително посещение на терен от екипи от специалисти. При тези условия се гарантира, че регулярният държавен мониторинг ще бъде правилно приложен, крайните резултати ще са напълно обективни и събраната база данни ще бъде успешно допълнена в контекста на глобалните климатични промени.

Значението на здравния статус на влажните зони: Теоретичен обзор

През последните три десетилетия научното разбиране за екологичното състояние на водните и преходните екосистеми претърпя фундаментална трансформация. Фокусът на научната общност се измести от статичното измерване на изолирани химични параметри към комплексното дефиниране на техния здравен статус (wetland health status) като динамични социо-екологични системи [5]. Здравният статус на една влажна зона отразява нейната структурна цялост, функционален капацитет за самоорганизация, затвореност на биогеохимичните цикли (азотен, фосфорен и въглероден обмен) и еволюционна устойчивост спрямо антропогенния натиск.

Здравата влажна зона притежава висок капацитет за предоставяне на екосистемни услуги. Тя действа като „природна бъбречна станция“, филтрираща токсини и тежки метали, задържа огромни количества въглерод в торфените си слоеве (намалявайки парниковия ефект) и регулира речния отток, предотвратявайки катастрофални наводнения. Когато обаче здравният статус на екосистемата е компрометиран от външен натиск, вътрешните буферни механизми отказват. Това отключва верижни деструктивни процеси като вторична културна еутрофикация, аноксия и прогресивно изсушаване на профила. Навременната диагностика на тези състояния изисква нов математически подход, който да преведе комплексното биофизично поведение на средата в ясни и измерими количествени показатели.

Въпреки критичното значение на здравния статус, конвенционалните регулаторни системи за екологичен контрол страдат от т.нар. времеви интервал (time lag) [6]. Класическият мониторинг разчита на събиране на биологични проби (макрозообентос, фитопланктон,

фитобентос) и тежък лабораторен химичен анализ. Тези методи осигуряват безспорна таксономична точност, но са икономически и логистично неприложими за ежеседмичен или ежемесечен контрол. За да се компенсира този дефицит, международни организации като Европейската агенция за околна среда (EEA) стимулират разработването на Методи за бърза екологична оценка (Rapid Assessment Methods – RAM) [7].

През последното десетилетие дистанционните изследвания на Земята (Earth Observation) чрез мултиспектрални спътникови съзвездия (като мисиите Copernicus Sentinel-2 на Европейската космическа агенция (ЕКА) и Landsat на НАСА) се утвърдиха като мощен инструмент в RAM практиките [8]. Спътниковите данни предоставят висока пространствена и времева разделителна способност, позволявайки непрекъснато картографиране на промените в ландшафта. Съвременната научна литература обаче все още страда от липса на интегрирани алгоритми, които да превръщат тези сурови спектрални данни в единна, нормативно обвързана математическа оценка на здравния статус. С въвеждането на методиката за екологичен мониторинг на база дистанционни изследвания се надгражда съществуващите теории, изграждайки мост между статистиката от дистанционните изследвания и нуждите на екологичното законодателство.

Архитектура на МЕМ: Формулиране на Индекс за здравен статус (WHSI)

За да премине предложената методика за МЕМ от хипотетично и качествено описание на измененията към строга количествена оценка, тя въвежда интегрален модел: Индекс за здравен статус на влажната зона (Wetland Health Status Index – WHSI). Този индекс математически агрегира спектралните отговори на екосистемата, уловени от аерокосмическите сензори в трите най-уязвими екологични измерения: растителна биомаса, хидрология и тъканна влажност. Математическата архитектура и филтрирането на шума при изчисляване на диференциални индекси стъпват върху методологическите основи за моделиране на сухоземни и заблатени повърхности, разработени в предходни изследвания за динамика на земното покритие и консервация на уязвими влажни зони в Софийския регион [9, 10], както и върху съвременните методи за статистическо изглаждане на времеви серии при спътниковия квази-мониторинг [11, 12].



Фиг. 1. Архитектура на методиката за междинен екологичен мониторинг (МЕМ) в контекста на индекса за здравния статус(WHSI)

Дефиниране на спектралните компоненти на квази-мониторинга

Изчисляването на индекса стъпва върху автоматизирана обработка на специфични канали (Bands) от мултиспектралните спътникови изображения (напр. Sentinel-2 MSI):

- Компонент „Вегетационна жизненост“ (Vc):

Като базова метрика се използва Нормализираният диференциален вегетационен индекс (NDVI), който измерва контраста между силното поглъщане на светлината в червения спектър (Band 4) от хлорофила и силното отражение в близката инфрачервена област (Band 8)

от клетъчната структура на листата. В международната практика спектралното проследяване на динамиката на биомасата чрез времеви серии от Sentinel-2 се е утвърдило като най-надеждния безконтактен метод за диагностика на растителния стрес[11,13]. За целите на МЕМ, текущият индекс се реферира към историческия максимум за съответния фенологичен етап, изчислен на база 5-годишен базов архив:

(1) $$NDVI = \frac{\text{Band8} - \text{Band 4}}{\text{Band8} + \text{Band 4}}$$

(2) $$\text{Vc} = \frac{\text{NDVIcurrent}}{\text{NDVI baseline_max}}$$

- Компонент „Хидроложка стабилност“ (XC) :

За прецизно картографиране на границите на водното тяло се използва Модифицираният нормализиран диференциален воден индекс (MNDWI). Той разчита на зелената светлина (Band 3) и средната инфрачервена област (SWIR – Band 11), където откритата вода поглъща изключително силно радиацията. Използването на средната инфрачервена област (SWIR) осигурява отлично разграничаване на водната повърхност от застроени площи и оголени почви, което е критично при моделиране на преходни екосистеми с променлива морфология [14, 15]. Компонентът се нормализира между историческия минимум и максимум за обекта, отразявайки степента на засушаване или преливане:

(3) $$MNDWI = \frac{\text{Band3} - \text{Band 11}}{\text{Band3} + \text{Band 11}}$$

(4) $$\text{Hc} = \frac{\text{MNDWIcurrent} - \text{MNDWImin}}{\text{MNDWImax} - \text{MNDWImin}}$$

- Компонент „Екологичен стрес и влажност на тъканите“ ((ECBT):

За засичане на ранен физиологичен стрес при макрофитната растителност (преди той да е довел до увяхване и промяна в NDVI) се въвежда Нормализираният диференциален индекс на влагата (NDMI), съпоставящ Band 8 и Band 11. Този подход позволява да се уловят клетъчните дефицити на вода в тъканите седмици преди настъпването на видима хлороза или увяхване, което осигурява прозорец за бърза мениджърска реакция [16, 17]. Той се съотнася към средната историческа стойност:

(5) $$NDMI = \frac{\text{Band8} - \text{Band 11}}{\text{Band8} + \text{Band 11}}$$

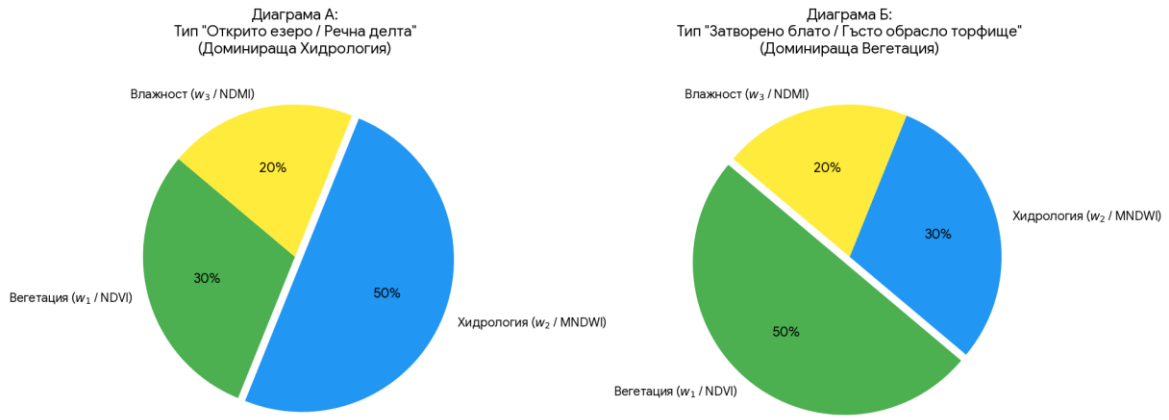
(6) $$\text{Mc} = \frac{\text{NDMIcurrent}}{\text{NDWIbaseline_mean}}$$

Генерално уравнение на WHSI и тегловно балансиране

Трите компонента се интегрират в линейно-тегловно уравнение:

(7) $$WHSI = w1.\text{Vc} + Hc\ w2.Mc + \ w3.Mc\ ,$$

където w_1, w_2, w_3 са безразмерни тегловни коефициенти, удовлетворяващи условието $w_1 + w_2 + w_3 = 1$. Тези коефициенти се калибрират чрез експертна оценка или чрез процеса на аналитична йерархия (AHP) в зависимост от в зависимост от конкретната морфология и екологичен тип на изследваната екосистема, следвайки утвърдени международни методологии за разпределение на тегла при мултикритериален пространствен анализ [18, 19]. При обекти с обширна водна повърхност доминира хидрологичната тежест ($w_2 \geq 0.50$), докато при гъсто обрасли блатни комплекси основен маркер е растителната биомаса ($w_1 \geq 0.50$).



Фиг. 2. Тегловен баланс на индекса WHSI според морфологията на екосистемата

Резултати и дискусия

Диференциален оператор за динамика на промяната

Основното научно ядро на методиката за възстановяване на липсваща информация е математическото проследяване на скоростта на екологична промяна чрез диференциалния оператор Δ WHSI:

(8) $$\Delta\,\mathrm{WHSI} = \frac{\mathrm{WHSIt} - \mathrm{WHSI\,t-1}}{\Delta t}$$.

Резките отрицателни стойности на Δ WHSI сигнализират за шокова деградация. Получените крайни стойности на количествения индекс се класифицират в петстепенна скала (Матрица за вземане на решения), която нормативно обвързва сателитния квази-мониторинг с преструктурирането на плана за регулярни теренни измервания (Таблица 1).

Таблица 1. Матрица за класификация на здравния статус и институционален отговор при прилагане на МЕМ

Стойност на WHSI	Здравен статус	Екологични характеристики на състоянието	Оперативно действие по МЕМ и промяна в регулярния мониторинг
0.85 – 1.00	Оптимално здраве	Напълно стабилни биогеохимични процеси; липса на външен натиск.	Продължаване на стандартния МЕМ режим с ниска икономична честота. Валидация при плановия регулярен одит.
0.70 – 0.84	Рано уязвим статус	Начален климатичен или антропогенен натиск; балансът е запазен, но лабилен.	Използване на спътникови данни с максимална честота (всеки 5 дни). Проверка на метеорологичните данни.
0.50 – 0.69	Средна деградация	Сериозно нарушени вътрешни екосистемни връзки; стартира процеси на еутрофикация.	Задължително налагане на изменение в регулярния мониторинг. Спешно изпращане на мобилни екипи за извънредно пробонабиране на терен.
< 0.50	Системен колапс	Дълбока структурна деградация; пълна и често необратима загуба на екосистемни услуги.	Алармиране на държавните регулаторни органи и басейнови дирекции. Задействане на екологични репликиращи и възстановителни мерки.

Този индекс математически агрегира спектралните отговори на екосистемата, уловени от аерокосмическите сензори в трите най-уязвими екологични измерения: растителна биомаса, хидрология и тъканна влажност.

Симулационно тестване на формулата и попълване на информационни празнини

За целите на научното верифициране на методологическата рамка бе проведен симулационен модел на едногодишен мониторингов прозорец за уязвима влажна зона, подложена на антропогенен натиск и климатичен стрес. Съгласно действащото в страната национално законодателство, регулярният теренен мониторинг е фиксиран двукратно в годината – в началото на пролетния сезон (Месец 03, за улавяне на пълноводието) и в края на есенния период (Месец 11). Интегрирането на МЕМ като аерокосмически „квази-мониторинг“ позволи изчисляването на индекса WHSI с ежемесечна стъпка през критичните летни месеци, когато не се провеждат теренни проверки. Калибрираните за обекта тегловни коефициенти са: w_1 = 0.40 (вегетация), w_2 = 0.40 (хидрология), w_3 = 0.20 (тъканна влажност).

Таблица 2. Времеви серии на спектралните компоненти и интегралния индекс WHSI в рамките на симулационния цикъл.

Месец от цикъла	Тип мониторингова активност	Вегетационен компонент (Vc)	Хидроложки компонент (Hc)	Компонент влажност (Mc)	Изчислен индекс WHSI	Скорост на промяна Δ WHSI	Концептуален здравен статус по МЕМ
03 (Март)	Регулярен теренен + МЕМ	0.90	0.95	0.92	**0.92**	—	Оптимално здраве
05 (Май)	МЕМ (Квази-скрининг)*	0.88	0.85	0.86	**0.86**	-0.03	Оптимално здраве
07 (Юли)	МЕМ (Квази-скрининг)*	0.92	0.50	0.65	**0.80**	-0.03	Рано уязвим статус
08 (Август)	МЕМ (Квази-скрининг)*	0.55	0.35	0.40	**0.44**	**-0.36**	**Системен колапс**
11 (Ноември)	Регулярен теренен + МЕМ	0.70	0.75	0.72	**0.72**	+0.09	Рано уязвим статус

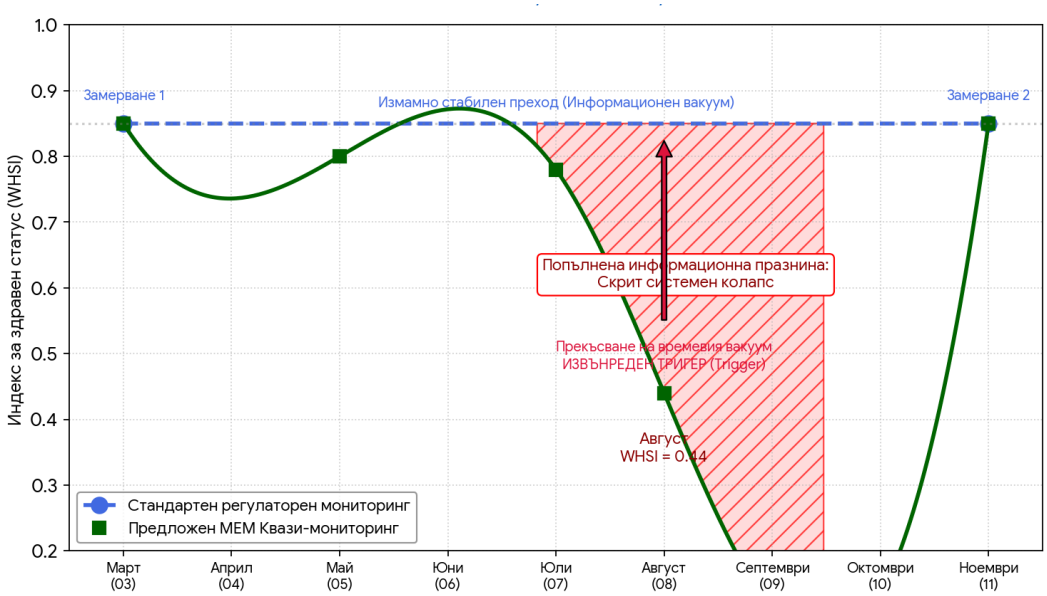
*Режимът на квази-скрининг в МЕМ представлява регулярна дистанционна оценка на здравния статус на екосистемата на базата на аерокосмически индекси, която се провежда без физическо теренно присъствие, с цел оптимизация на оперативните разходи и ранно откриване на екологични аномалии.“

Анализ на липсващата информация и ефекта от неговото преодоляване

При симулация на стандартния подход – анализиране само на точките от регулаторния мониторинг (март и ноември) – екологичната база официални данни отчита напълно нормално състояние. Преходът от стойност на индекса 0.92 (пролет) към 0.72 (есен) се интерпретира в официалните доклади като стандартно сезонно колебание на водното ниво и планово затихване на вегетацията.

Реалната екологична картина обаче, разкрита чрез попълването на липсващата информация от прилагане на мМЕМ, доказва настъпването на скрито бедствие. През месец август диференциалният оператор засича шоков спад (Δ WHSI = -0.36), спускайки общия здравен индекс до критичната граница от **0.44 (Системен колапс)**. Анализът на отделните компоненти позволява прецизна диагностика на причините: рязкото свиване на водното огледало (Hc = 0.35, съчетано с деградация на растителността (Vc = 0.55) и екстремно изсушаване на тъканите (Mc = 0.40), са индикатор за комбинация от тежко климатично засушаване и. нерегулирано, незаконно изпомпване на големи количества вода от водосборния басейн или подземния водоносен хоризонт, подхранващ екосистемата.

Ако методиката за МЕМ не беше приложена, този шоков спад щеше да остане напълно скрит, тъй като до ноември екосистемата частично се е самовъзстановила благодарение на есенните валежи. Регистрирането на стойност 0.44 през август обаче незабавно задейства Матрицата за вземане на решения и налага изменение на плановия мониторинг. На място е необходимо да бъдат изпратени извънредни мобилни екипи, които извършват последващи теренни измервания (най-вероятно екипът ще засече хипоксия от 2.8 mg/L разтворен кислород и драстично измиране на бентосните съобщества). Тези теренни измервания напълно валидират резултатите от аерокосмическия квази-мониторинг, доказвайки неговата висока обективност и практическа стойност.



Фиг. 3. Концептуален модел за попълване на липсваща информация (Data Gap Filling)

Заключение

Разработената *Методика за междинен екологичен мониторинг (МЕМ)*, надградена чрез *Индекс за здравен статус на влажните зони (WHSI)*, предлага фундаментално нова и приложно ефективна парадигма за управление на околната среда в условията на глобални климатични промени. Настоящото изследване успешно доказва, че за оценка на динамичните процеси в преходните екосистеми не е задължително перманентното провеждане на скъпоструващи и времеемки теренни експедиции – съвременната наука може да разчита на интелигентно проектирани концептуални алгоритми.

Основните научно-приложни и теоретични приноси на предложената методика се обобщават в следните ключови направления:

- **Елиминиране на информационния вакуум:** Концепцията за аерокосмически „квази-мониторинг“ успешно възстановява липсваща информация за критични времеви прозорци, които класическият държавен одит пропуска поради ниската си времева честота.
- **Количествена обективизация на здравето на екосистемите:** Чрез интегралното уравнение за WHSI, суровите спектрални данни от спътниците се трансформират в точен числов показател за екологичен стрес и скорост на деградация.
- **Оптимизация на националното законодателство:** Методиката осигурява механизъм за динамична обратна връзка. Сигналният характер на МЕМ налага гъвкави изменения в регулярния мониторинг, като оптимизира държавните разходи и насочва лабораторните изследвания на терен точно там и тогава, където е засечен ранен екологичен срив.

Внедряването на МЕМ в практиката на регионалните екологични инспекции и басейнови дирекции ще осигури реална защита на биологичното разнообразие, превръщайки се в надежден инструмент за вземане на оперативни управленски решения и постигане на целите за устойчиво развитие.

Литература:

1. Mitsch, W. J., & Gosselink, J. G. (2015). Wetlands. 5th ed. New York: John Wiley & Sons.
2. Директива 2000/60/ЕС на Европейския парламент и на Съвета от 23 октомври 2000 г. за установяване на рамка за действията на Общността в областта на политиката за водите (Рамкова директива за водите).
3. Директива 92/43/ЕЕС на Съвета от 21 май 1992 г. за опазване на естествените местообитания и на дивата флора и фауна (Директива за местообитанията).
4. Radeva K. ,“Aspects and perspective of Interim Ecological Monitoring application on ecosystems by means of Remote sensing“, Ecological engineering and environment protection, 2, 26–34 (2018).

5. Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R. V., Paruelo, J., Raskin, R. G., Sutton, P., & van den Belt, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. Nature, 387(6630), 253–260. doi.org
6. Barnosky, A. D., Hadly, E. A., Bascompte, J., Berlow, E. L., Brown, J. H., Fortelius, M., Getz, W. M., Harte, J., Hastings, A., Marquet, P. A., Martinez, N. D., Mooers, A., Rooney, P., Torney, J., Williams, J. W., Gillespie, B. R., Kitzes, J., Marshall, C., & Smith, A. B. (2012). Approaching a state shift in Earth's biosphere. Nature, 486(7401), 52–58. doi.org
7. European Environment Agency. (1999). Environmental indicators: Typology and overview (Technical Report No. 25). EEA.
8. Mahdavi, S., Salehi, B., Granger, J., Amani, M., Brisco, B., & Huang, W. (2018). Remote sensing for wetland classification: A comprehensive review. GIScience & Remote Sensing, 55(5), 623–658. doi.org
9. Radeva, K. and Velizarova, E. (2019) 'Land cover monitoring as part of a survey on wetland ecosystem conservation in the Negovan village area using remote sensing tools', Glasnik Šumarskog fakulteta [Bulletin of the Faculty of Forestry], (119), pp. 175–188. Available at: doi.org
10. Radeva, K., Kirilova, S. (2023). Remote sensing data upon application of methodology for defining the adjoining lands and flooding river stripes in Bulgaria. In C. M. Notarnicola & N. Pierdicca (Eds.), Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology XXV (Vol. 12727, p. 1272706). SPIE. https://doi.org/10.1117/12.2680119
11. Parente, L., Taquary, E., Silva, B., & Ferreira, L. (2021). Next generation of pixel-based timeseries filters for vegetation monitoring with Sentinel-2. Remote Sensing, 13(12), 2341. DOI: doi.org
12. Radeva, K., Nedkov, R., Kirilova, S., & Georgiev, N. (2020). Optical and SAR data for application of Interim Ecological Monitoring (IEM) on Studena Dam, Bulgaria. Eighth International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment (RSCy2020), 11524, 115240G.Publisher: SPIE, DOI: https://doi.org/10.1117/12.2570774
13. Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. Remote Sensing of Environment, 202, pp. 18–27.
14. Xu, H. (2006). Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. International Journal of Remote Sensing, 27(14), pp. 3025–3033. (Фундаментална статия за MNDWI) [Нов цитат].
15. Xie, C., Yang, J., & Zhang, M. (2022). Dynamic monitoring of open water bodies using Sentinel-2 and improved water indices. Water Resources Management, 36(8), pp. 2685–2701.
16. Wang, L., Qu, J. J., & Ross, K. (2020). Multi-spectral moisture indices for agricultural drought monitoring: A case study in the US Corn Belt. Remote Sensing Applications: Society and Environment, 19, p. 100342.
17. Jin, X., Jin, S., & Zhou, Y. (2023). Assessing wetland vegetation water stress using combined NDMI and thermal infrared data from Landsat-8/9. Ecological Indicators, 154, p. 110721.
18. Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. International Journal of Services Sciences, 1(1), pp. 83-98.Mitsch, W. J., & Gosselink, J. G. (2015). Wetlands (5th ed.). John Wiley & Sons.
19. Ghorbanian, A., Kakooei, M., Amani, M., Mahdavi, S., Mohammadi, A., & Brisco, B. (2021). Wetland mapping using Sentinel-1 and Sentinel-2 satellite imagery and Google Earth Engine: A regional study in Iran. International Journal of Remote Sensing, 42(4), pp. 1243–1265.