

UNIVERSITATEA DE STAT DIN MOLDOVA
ȘCOALA DOCTORALĂ ȘTIINȚE ALE NATURII

**Consortiul: Universitatea Stat din Moldova, Institutul de Dezvoltare a Societății Informaționale,
Universitatea de Stat „Bogdan Petriceicu Hașdeu” din Cahul**

Cu titlul de manuscris:
C.Z.U. 579.66:582.232.2:546.302:579.222.4(043.3)

IUSHIN NIKITA

**TEHNOLOGII DE RECUPERARE A ELEMENTELOR DE
PĂMÂNTURI RARE CU UTILIZAREA CIANOBACTERIEI
*ARTHROSPIRA PLATENSIS***

167.01. BIOTEHNOLOGIE, BIONANOTEHNOLOGIE

Rezumatul tezei de doctor în științe biologice

Chișinău, 2024

Teza a fost elaborată în cadrul Universității de Stat din Moldova, Școala Doctorală Științe ale Naturii, Departamentului Biologie și Ecologie, precum și în Institutul de Microbiologie și Biotehnologie a Universității Tehnice a Moldovei.

Conducător științific

CEPOI Liliana doctor habilitat în științe biologice, conferențiar cercetător, Școala Doctorală Științe ale Naturii în cadrul Universității de Stat din Moldova

Componența Comisiei de Doctorat:

VOLOSCIUC Leonid doctor habilitat în științe biologice, profesor universitar, Universitatea de Stat din Moldova — *președinte*

CEPOI Liliana doctor habilitat în științe biologice, conferențiar cercetător, Școala Doctorală Științe ale Naturii în cadrul Universității de Stat din Moldova — *conducător de doctorat*

CHIRIAC Tatiana doctor în științe biologice, conferențiar cercetător, Universitatea Tehnică a Moldovei — *referent*

RODICA Sturza doctor habilitat în științe tehnice, profesor universitar, membru corespondent al Academiei de Științe a Moldovei, Universitatea Tehnică a Moldovei — *referent*

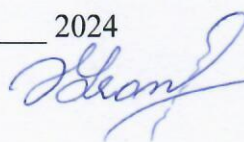
COROPCEANU Eduard doctor în științe chimice, profesor universitar, Universitatea Pedagogică de Stat Ion Creangă din Chișinău — *referent*

Susținerea va avea loc la **15 octombrie 2024**, ora **15.00** în cadrul Ședinței Comisiei de susținere publică a tezei de doctorat din cadrul Școlii Doctorale Științe ale Naturii, USM. Sediul – Universitatea de Stat din Moldova (<http://www.usm.md>), str. M. Kogălniceanu 65 A, blocul 3, sala 332, MD-2009, Chișinău, Moldova.

Teza de doctor și rezumatul pot fi consultate la Biblioteca Națională a Republicii Moldova, Biblioteca Centrală a Universității de Stat din Moldova (MD 2009, mun. Chișinău, str. Alexei Mateevici 60), pe pagina web a ANACEC (<http://www.anacec.md>), și pe pagina web a USM (<http://www.usm.md>).

Rezumatul a fost expediat la „_____” _____ 2024

Președintele Comisiei de Doctorat
doctor habilitat în științe biologice, profesor universitar



VOLOSCIUC Leonid

Conducător științific
doctor habilitat în științe biologice, conferențiar cercetător



CEPOI Liliana

Autor:



IUSHIN Nikita

© Iushin Nikita, 2024

CUPRINS

REPERELE CONCEPTUALE ALE CERCETĂRII	4
1. PARTICULARITĂȚI DE OBȚINERE, UTILIZARE ȘI PRELUCRARE A EPR	7
2. MATERIALE ȘI METODE	7
3. BIOSORBȚIA IONILOR ELEMENTELOR DE PĂMÂNTURI RARE (EPR) DE CĂTRE CIANOBACTERIA <i>A. PLATENSIS</i>	7
3.1. Caracteristicile biosorbentului	8
3.2. Influența diferiților parametri asupra biosorbției EPR de către biomasa <i>A. platensis</i>	9
3.2. Descrierea datelor experimentale folosind modele cinetice, de echilibru și termodinamice .	12
4. BIOACUMULAREA IONILOR EPR DE CĂTRE CIANOBACTERIA <i>A. PLATENSIS</i>	13
4.1. Eficiența de bioacumulare a EPR de către biomasa <i>A. platensis</i>	14
4.2. Efectul concentrației EPR asupra cantității de biomasă de <i>A. platensis</i>	15
4.3. Modificarea conținutului de proteine și carbohidrați în biomasa <i>A. platensis</i> sub influența EPR.....	16
4.4. Modificarea conținutului de lipide și malondialdehidă (MDA) în biomasa <i>A. platensis</i> sub influența EPR.....	17
4.5. Modificarea conținutului de pigmenți în biomasa <i>A. platensis</i> sub influența EPR	18
4.6. Activitatea antioxidantă a extractelor din biomasa <i>A. platensis</i> sub influența EPR.....	20
5. TEHNOLOGII DE ÎNDEPARTAREA EPR DIN MEDIUL ACVATIC FOLOSIND CIANOBACTERIA <i>A. PLATENSIS</i>	21
5.1. Tehnologie de îndepărtare a EPR din apele reziduale folosind biomasa uscată de <i>A. platensis</i>	21
5.2. Tehnologie de îndepărtare a EPR prin bioacumulare de către <i>A. platensis</i>	22
5.3. Aplicarea tehnologiilor dezvoltate pentru alte elemente de pământuri rare — Dy și Tb.	23
CONCLUZII ȘI RECOMANDĂRI	24
BIBLIOGRAFIE	26
LISTA PUBLICAȚIILOR AUTORULUI LA TEMA TEZEI.....	28
АННОТАЦИЯ.....	30
ADNOTARE	31
ANNOTATION.....	32

REPERELE CONCEPTUALE ALE CERCETĂRII

Actualitatea și importanța temei abordate:

Elementele de pământuri rare (EPR) devin din ce în ce mai importante pentru economie datorită proprietăților lor chimice și fizice unice. Totuși, în pofida utilizării lor în industrie pe scară largă, extracția și îmbogățirea EPR este un proces complex și costisitor datorită conținutului scăzut de metale în minereuri și dificultăților întâmpinate în separarea impurităților. Pe lângă aceasta, există riscul de poluare a mediului în timpul procesului de extragere. Efectele toxice ale EPR asupra solului, organismelor acvatice și sănătății umane sunt descrise în detaliu în mai multe lucrări [1–3].

În prezent, pentru extragerea și concentrarea EPR sunt utilizate diverse metode fizico-chimice, printre care: precipitarea, extracția cu solvent, schimbul ionic, extracția în fază solidă, etc. [4, 5]. Cu toate acestea, metodele tradiționale au un șir de dezavantaje, inclusiv consumul ridicat de reactivi și energie, selectivitate scăzută și costuri ridicate de exploatare. În acest sens, este necesar de dezvoltat metode rentabile din punctele de vedere economic și ecologic pentru extragerea EPR din minereurile epuizate și deșeurile industriale.

În ultimii ani, atenția cercetării s-a concentrat asupra aplicării metodelor biologice pentru recuperarea metalelor. Printre acestea merită menționate biosorbția și bioacumularea. Biosorbția este o tehnologie rentabilă, rapidă, reversibilă și ecologică pentru extracția EPR [6]. În comparație cu metodele tradiționale, biosorbția are o serie de avantaje, precum: costuri de operare reduse, eficiență ridicată a îndepărtării ionilor metalici, inclusiv din apele uzate cu concentrații mici de elemente, și posibilitatea regenerării sorbentului. Biosorbția este mai atractivă pentru aplicare industrială datorită utilizării biomasei neviabile. În calitate de biosorbenți sunt utilizați funghi, bacterii, drojdii, alge etc.

Bioacumularea este un proces mai complex și mai costisitor, care poate fi utilizat pentru bioremedierea zonelor contaminate de mari dimensiuni, precum și la identificarea mecanismului de acțiune al ionilor metalici asupra organismelor vii [7]. Bioacumularea combină atât biosorbția, cât și acumularea intracelulară. Procesul depinde de tipul de microorganisme, nivelul lor de adaptare, precum și de toxicitatea metalelor [8]. În cazul utilizării bioacumulării în scopuri industriale, este necesar de a asigura condițiile de creștere pentru microorganisme, ceea ce duce la scumpirea procesului. De asemenea, este importantă selectarea microorganismelor care sunt rezistente la concentrații mari ale poluanților [9].

Cianobacteriile sunt organisme poliextremofile care pot face față alcalinității ridicate, temperaturii și salinității înalte, și prezenței diferiților contaminanți în mediul nutritiv. Printre

cianobacterii, *Arthrospira platensis* (*A. platensis*, *Spirulina platensis*, spirulina) atrage mai multă atenție datorită compoziției sale chimice unice, precum și capacității ridicate de a acumula metale [10].

În studiile anterioare, a fost dovedită eficiența recuperării metalelor grele și a elementelor de pământuri rare din soluții și ape reziduale de către spirulină. Dintre EPR, La și Ce sunt cele mai studiate, în timp ce un număr mic de studii este dedicat recuperării Nd, Yb, Sm, Dy, Tb [11–18]. Un anumit număr de EPR rămân puțin studiate din punct de vedere al recuperării lor din efluenți, ceea ce ne-a determinat să selectăm pentru studiu EPR care nu au fost utilizate anterior în cercetare, inclusiv cu utilizarea cianobacteriei *Arthrospira platensis*. Aceste elemente sunt yttriul (Y), praseodimul (Pr), europiul (Eu), gadoliniul (Gd) și erbiul (Er). Aceste EPR sunt utilizate pe scară largă în diverse industrii, în special pentru producerea luminoforilor, magneților, laserelor, aliajelor metalice, sticlei și ceramicii. Ele sunt de asemenea, componente importante ale moderatorilor de flux de neutroni, etc. În același timp, există un pericol confirmat pe care compușii acestor metale îl prezintă pentru organismele vii, prin urmare recuperarea lor din apele reziduale este o sarcină extrem de importantă [19, 20].

Scopul lucrării: Dezvoltarea unor tehnologii eficiente pentru recuperarea Y, Pr, Eu Gd, Er din apele reziduale folosind cianobacteria *Arthrospira platensis* ca biosorbent și bioacumulator.

Obiectivele cercetării:

- determinarea parametrilor optimi pentru sorbția Y, Pr, Eu Gd, Er de către biomasa *Arthrospira platensis*;
- identificarea caracteristicilor bioacumulării EPR de către biomasa *Arthrospira platensis*;
- evaluarea modificărilor parametrilor biochimici ai biomasei spirulinei în timpul procesului de bioacumulare a EPR;
- dezvoltarea schemelor tehnologice pentru biosorbția și bioacumularea EPR din soluții.

Ipoteza de cercetare: Deoarece cianobacteria spirulina are un potențial ridicat de bioremediere a ionilor de metale grele, se presupune că *Arthrospira platensis* CNMN-CB-02 este un biosorbent și bioacumulator eficient pentru recuperarea elementelor de pământuri rare (Y, Pr, Eu Gd, Er) din soluții și poate să fie utilizată ca parte a tehnologiei de îndepărtare a acestor elemente și a altor EPR din diverse medii.

Sinteza metodologiei de cercetare și justificarea metodelor de cercetare alese: Setul de metode utilizate în studiu este aplicat în biotehnologia modernă și include o serie de tehnici metodologice și proceduri analitice optimizate pentru obiectul cercetării. Pentru a determina compoziția elementelor chimice ale biomasei, a fost utilizată metoda de analiză prin activare cu neutroni (NAA) la reactorul IBR-2 (IUCN), care permite determinarea simultană a până la 45 de

elemente. Morfologia suprafeței cianobacteriei a fost studiată utilizând microscopul electronic de baleiaj (SEM) Quanta 3D FEG (FEI, Hillsboro, OR, SUA), cu o rezoluție de până la 1,5 nm în modul de vid redus. Grupările funcționale de pe suprafața cianobacteriei au fost determinate utilizând spectrometrie în infraroșu utilizând spectrometrul FTIR Bruker Alpha Platinum-ATR (Bruker Optics, Ettingen, Germania).

Concentrațiile EPR în soluțiile obținute în timpul experiențelor au fost determinate utilizând spectrometrul de emisie optică cu plasmă cuplată inductiv (ICP-OES) PlasmaQuant PQ 9000 Elite (Analytik Jena, Jena, Germania). Această metodă are o limită de detecție scăzută și o viteză mare de determinare a compoziției elementelor chimice.

Cantitatea de biomasă a fost determinată utilizând spectrofotometrul în spectru vizibil T60 (PG Instruments Limited, Regatul Unit) prin măsurarea densității optice a suspensiei de spirulina cu calculul cantitativ realizat în baza curbei de calibrare. Pentru determinarea compoziției biochimice a biomasei spirulinei (proteine, carbohidrați, lipide, pigmenți solubili în apă și alcool, produși finali ai degradării lipidelor, activitatea antioxidantă a biomasei), au fost utilizate metode biochimice adaptate pentru lucrul cu *Arthrospira platensis*. [21]

Pentru a descrie cinetica, echilibrul și termodinamica sorbției au fost utilizate modele clasice din chimia fizică. Au fost utilizate instrumente de analiză statistică pentru a stabili validitatea datelor experimentale obținute.

Noutatea și originalitatea științifică: pentru prima dată, cianobacteria *Arthrospira platensis* a fost folosită pentru tratarea apelor reziduale care conțin elemente de pământuri rare (itriu, praseodim, europiu, gadolinu, erbiu). Au fost determinați parametrii sorbției, care permit îndepărtarea maximă a elementelor pământurilor rare. Au fost obținute date unice cu privire la influența elementelor pământurilor rare studiate asupra compoziției biochimice a *Arthrospira platensis* ca rezultat al bioacumulării pământurilor rare.

Semnificația teoretică a tezei: au fost determinați parametrii fizico-chimici optimi (pH-ul, timpul, temperatura, concentrația elementului) pentru îndepărtarea elementelor de pământuri rare. A fost stabilită natura proceselor de biosorbție. A fost studiat impactul elementelor pământurilor rare asupra activității vitale a *Arthrospira platensis* și a compoziției ei biochimice.

Valoarea aplicativă a tezei: abordările dezvoltate pot fi utilizate pentru tratarea și post-tratarea apelor reziduale de la întreprinderile industriale care conțin metale de pământuri rare în ciclul de producție, precum și extracția metalelor din concentrate de elemente de pământuri rare. Pe baza datelor obținute pot fi dezvoltate tehnologii noi pentru extracția altor metale.

1. PARTICULARITĂȚI DE OBTINERE, UTILIZARE ȘI PRELUCRARE A EPR

Capitolul 1 „Particularități de obținere, utilizare și prelucrare a EPR” este consacrat unei analize a stării nivelului de cunoaștere în domeniul de cercetare și include date privind utilizarea EPR, formele în care se găsesc, localizarea și rezervele, metodele de extragere și prelucrare a acestora. De asemenea, sunt prezentate informații privind toxicitatea acestor elemente. Analiza literaturii de specialitate la tema tezei a oferit un suport teoretic important pentru cercetarea efectuată și a permis identificarea lacunelor în cunoștințele actuale, selectarea corectă a elementelor pentru studiu și formularea scopului și obiectivelor lucrării.

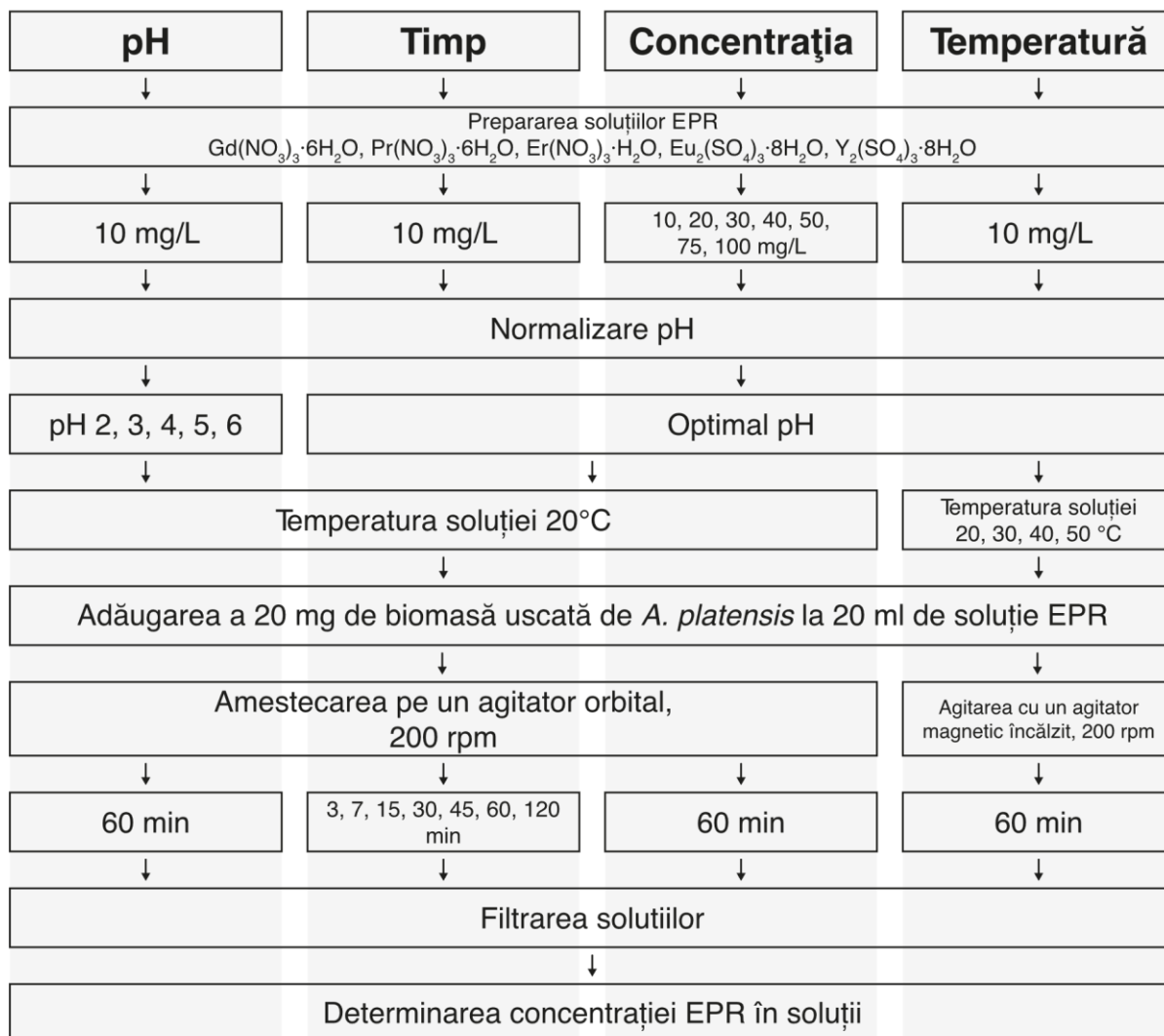
2. MATERIALE ȘI METODE

Acest capitol prezintă obiectul de studiu, materialele și metodele utilizate pentru realizarea lucrării. Lucrarea a fost efectuată în Sectorul de Analiză prin Activare cu Neutroni al Laboratorului Frank de Fizică a Neutronilor, Institutul Unificat de Cercetări Nucleare și Laboratorul de Ficobiotehnologie al Institutului de Microbiologie și Biotehnologie al Universității Tehnice a Moldovei. Ca obiect de studiu a servit tulpina cianobacteriei *Arthrospira platensis* CNMN-CB-02 (spirulina). Pentru cultivarea spirulinei a fost folosit mediul nutritiv SP-1. Sunt descrise metodele utilizate pentru determinarea cantității și calității biomasei de *Arthrospira platensis*. Este prezentată metoda de determinare a compoziției elementelor chimice în soluțiile experimentale, precum și procedurile de determinare a conținutului de biomasă a spirulinei și a compoziției sale biochimice.

Sunt prezentate formule pentru calculul eficienței biosorbției, determinarea cantității de substanță adsorbită dintr-o soluție și formulele pentru descrierea echilibrului, cineticii și termodinamicii procesului de sorbție.

3. BIOSORBȚIA IONILOR ELEMENTELOR DE PĂMÂNTURI RARE (EPR) DE CĂTRE CIANOBACTERIA *A. PLATENSIS*

Acest capitol prezintă rezultatele utilizării cianobacteriei *A. platensis* în calitate de biosorbent pentru recuperarea Y, Pr, Eu, Gd și Er din sistemele model. Au fost studiați parametrii care afectează eficiența biosorbției, cum ar fi pH-ul, concentrația elementelor și temperatura soluțiilor, precum și timpul de contact. Pentru a înțelege natura biosorbției, au fost calculate modelele de echilibru, cinetica și termodinamica. Figura 3.1 prezintă schema experiențelor pentru studierea efectului diferiților parametri asupra biosorbției Y, Pr, Eu, Gd și Er de către biomasa *A. platensis*.



Figurile 3.1. Schema experimentală pentru studierea efectului diferiților parametri asupra biosorbției EPR de către biomasă *A. platensis*

3.1. Caracteristicile biosorbentului

Cianobacteria *A. platensis*, folosită ca biosorbent, a fost caracterizată prin mai multe metode analitice. Morfologia suprafeței biomasei a fost vizualizată folosind microscopul electronic de baleaj (SEM). Lungimea filamentelor de cianobacterie a fost de 20–30 μm, diametrul a fost de 1,5–2,5 μm. În cea mai mare parte, filamentele cianobacteriene au fost intacte, indicând o deteriorare minimă a biomasei în timpul procesului de uscare și omogenizare. Cu toate acestea, în cantități mici sunt observate și incluziuni fragmentare. Spectroscopia în infraroșu cu transformare Fourier a permis identificarea grupurilor funcționale de pe suprafața *A. platensis* care pot fi implicate în legarea ionilor metalici. Acestea includ grupurile –OH, –NH₂, –CH₃, –CO, –C–O, –C–C, –C–OH, –P–O, –S–O și –CH.

Folosind analiza prin activare cu neutroni (AAN), a fost determinat conținutul a 22 de elemente în biomasa *A. platensis*, inclusiv macroelementele Na, K, Ca, Mg și Cl oligoelementele Fe, Zn, Se, Br, Cr, Ni și I, care joacă un rol important în metabolismul și activitatea vitală a organismelor vii, dar și alte elemente, precum Al, Sc, As, Rb, Sb, Ba, Cs și U, care nu au o funcție biologică cunoscută. Sursa principală a acestor elemente în biomasa pot fi considerate sărurile folosite la prepararea mediului nutritiv. Trebuie de remarcat faptul, că conținutul de elemente de pământuri rare în biomasa *A. platensis* a fost sub limita de detecție a metodei AAN [22].

3.2. Influența diferiților parametri asupra biosorbției EPR de către biomasa *A. platensis*

A fost studiată influența pH-ului, timpului de contact, concentrațiilor inițiale și a temperaturilor soluțiilor asupra biosorbției EPR de către biomasa cianobacteriei *A. platensis*.

Dintre factorii care influențează biosorbția, aciditatea (pH) este unul dintre cei mai importanți. Experiențele au fost efectuate în intervalul de pH de 2,0-6,0 pentru a determina pH-ul optim la care se realizează recuperarea maximă a EPR din efluenți (Figura 3.2).

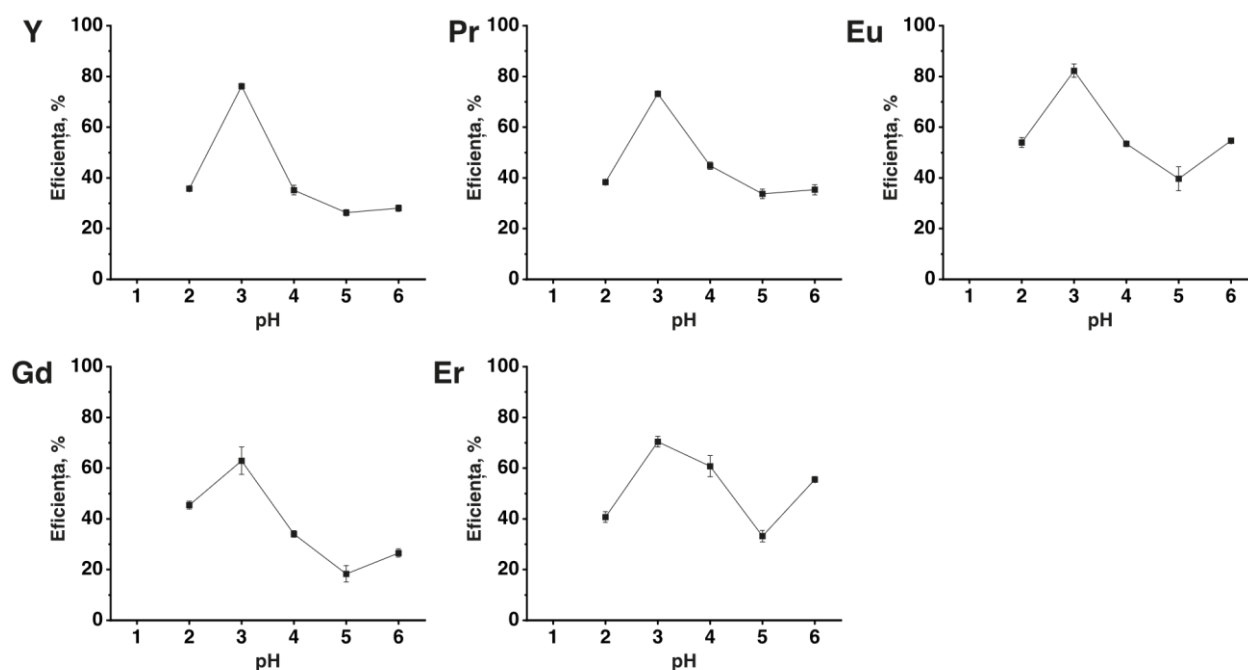


Figura 3.2. Efectul pH-ului asupra eficienței de biosorbției EPR de către cianobacteria *A. platensis*

În experiențele efectuate, cu creșterea pH-ului de la 2,0 la 3,0, eficiența biosorbției tuturor elementelor a crescut și a atins un maxim, iar odată cu creșterea în continuare a pH-ului s-a observat o scădere a sorbției. Eficiența maximă de recuperare a fost următoarea: 76% pentru Y, 73% pentru Pr, 82% pentru Eu, 62% pentru Gd și 70% pentru Er [22–26]. Deoarece eficiența

maximă de îndepărtare a EPR din soluții de către biomasa uscată a spirulinei a fost atinsă la pH 3,0, următoarele experimente au fost efectuate la această valoare a pH-ului.

Timpul de contact influențează semnificativ procesului de biosorbție. Efectul timpului a fost studiat în intervalul de la 3 până la 120 minute. Datele experimentale sunt prezentate în Figura 3.3.

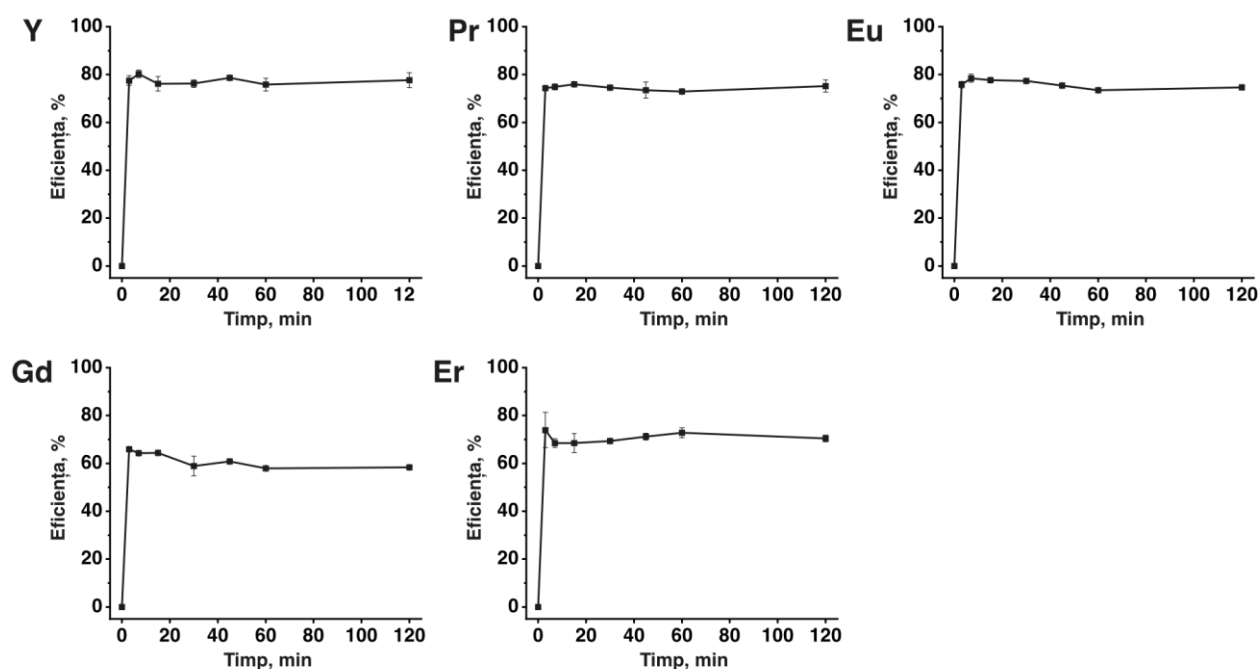


Figura 3.3. Efectul timpului de contact asupra eficienței de îndepărtare a EPR de către cianobacteria *A. platensis*

Procesul de biosorbție a fost foarte rapid. Îndepărtarea maximă a metalelor a fost atinsă în 3–7 minute de interacțiune a sorbentului cu sorbatul, după care a s-a instalat echilibrul. Creșterea timpului de biosorbție până la 120 minute nu a avut un efect vizibil asupra capacității de adsorbție a *A. platensis*. Eficiența maximă de îndepărtare a ionilor de Y, Pr și Eu a fost atinsă după șapte minute de interacțiune și a constituit 80, 74,8 și 78,4%, respectiv, [23–25]. În experiențele cu Gd și Er, recuperarea maximă (65,8 și 73,9%) a fost atinsă după 3 minute de interacțiune a biomasei cianobacteriene cu soluția [22, 26]. Adsorbția rapidă în primele minute de interacțiune poate fi explicată prin abundența grupurilor funcționale de pe suprafața biomasei, iar scăderea adsorbției este asociată de obicei cu saturația acestora și atingerea echilibrului.

Experiențele privind influența concentrației inițiale a soluției asupra biosorbției au fost efectuate în intervalul de concentrații de la 10 până la 100 mg/L. Figura 3.4 prezintă conținutul de EPR adsorbite de biomasă la diferite concentrații inițiale de elemente în soluții.

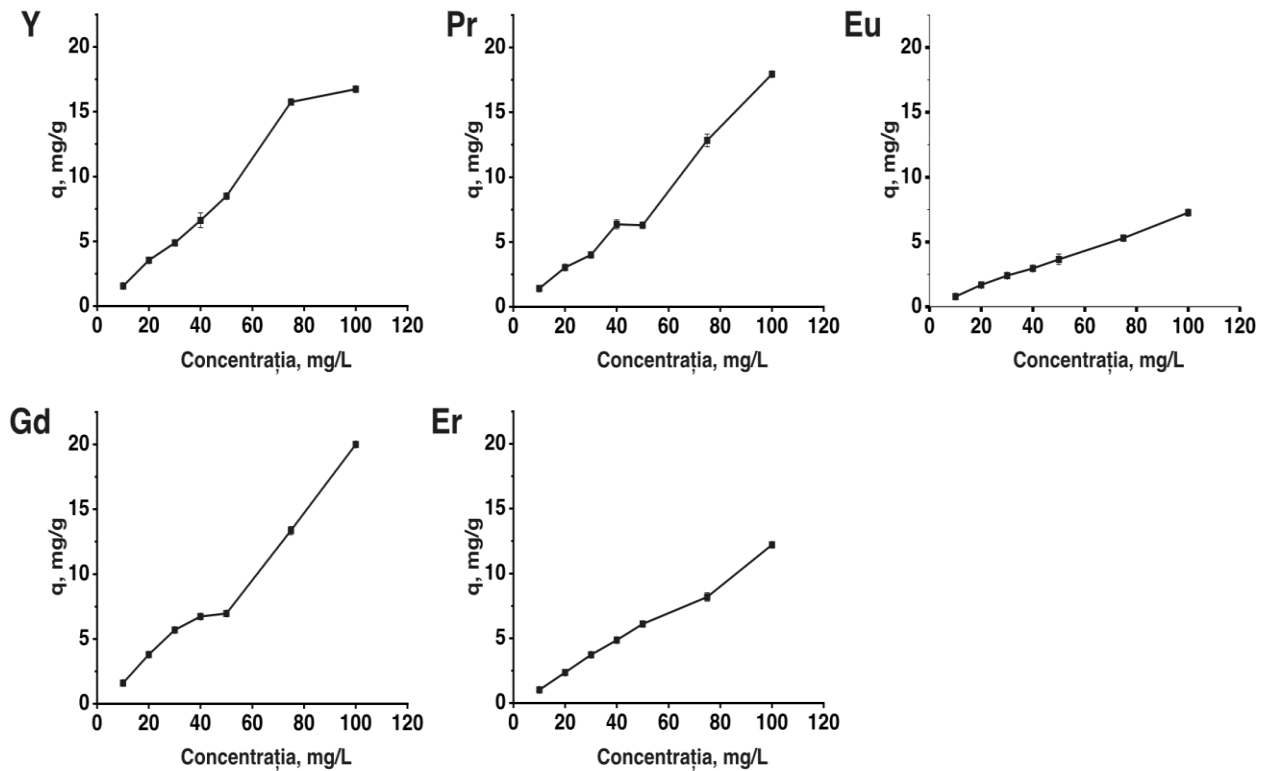


Figura 3.4. Efectul concentrației elementelor în soluție asupra biosorbției EPR de către cianobacteria *A. platensis*

Absorbția Y de către biomasa *A. platensis* a fost direct proporțională cu concentrația inițială a elementului în soluție; capacitatea de adsorbție de 1,6 mg/g determinată la o concentrație a Y de 10 mg/L a crescut la 16,7 mg/g la o concentrație de 100 mg/L [23]. Cea mai mare capacitate de adsorbție a spirulinei față de Pr (17,0 mg/g) a fost obținută la o concentrație de 100 mg/L [24]. Capacitatea de biosorbție a *A. platensis* a crescut odată cu creșterea concentrației Eu în soluție de la 0,8 până la 7,25 mg/g [25]. Creșterea concentrației de Gd în soluție de la 10 până la 100 mg/L a dus la o creștere a capacității de sorbție a biomasei de la 1,6 până la 20 mg/g [26]. Creșterea concentrației inițiale a ionilor de Er a dus la o creștere a capacității de sorbție a biomasei de la 1,0 până la 12,1 mg/g [22].

În studiul de față, au fost efectuate experimente privind efectul temperaturii asupra sorbției în intervalul de temperatură 20–50°C (Fig. 3.5).

Eficiența maximă de biosorbție a fost atinsă la 20°C și a constituit 79,4% pentru Y, 70,5% pentru Pr, 77,5% pentru Eu, 60% pentru Gd și 68,2% pentru Er [23–25]. Scăderea capacității de adsorbție a *A. platensis* cu creșterea temperaturii indică că acest proces este exotermic.

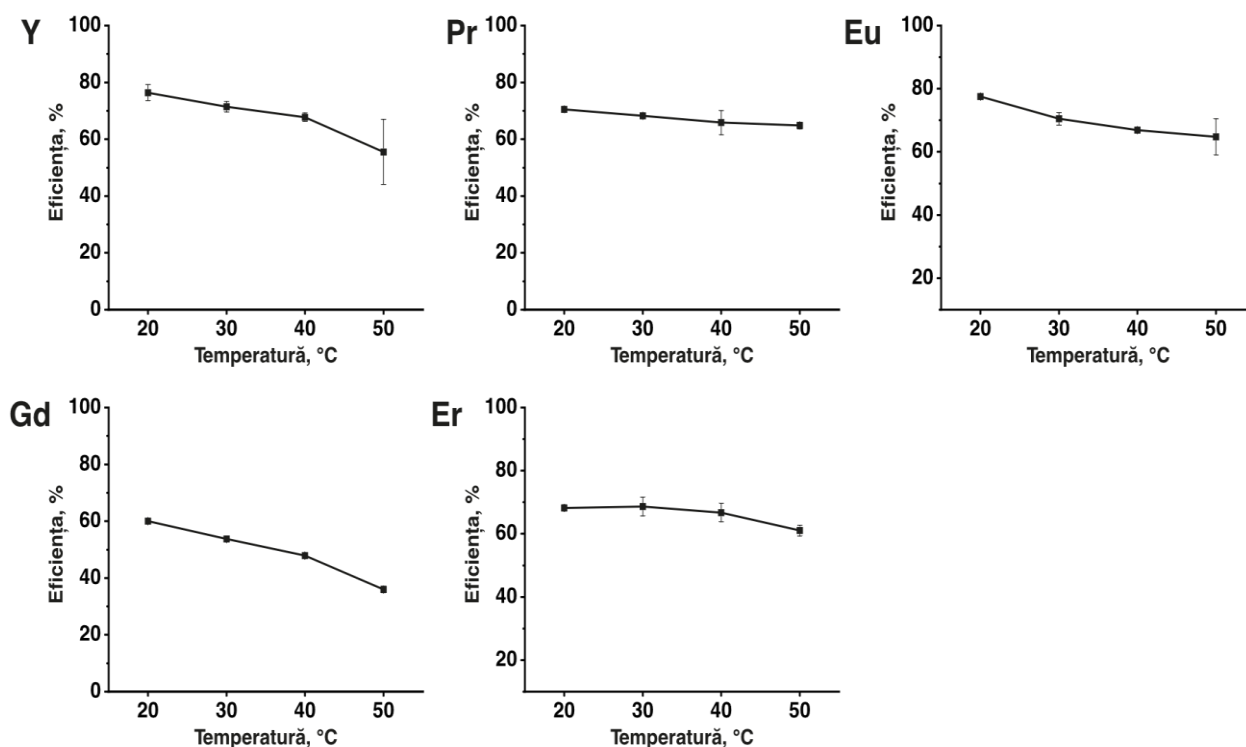


Figura 3.5. Efectul temperaturii asupra eficienței de biosorbție a EPR de către cianobacteria *A. platensis*

3.2. Descrierea datelor experimentale folosind modele cinetice, de echilibru și termodinamice

Pentru a descrie datele experimentale și a stabili natura biosorbției, au fost utilizate modele cinetice, de echilibru și termodinamice.

Modelele de cinetică a adsorbției corelează cu rata de adsorbție a substanțelor dizolvate, prin urmare aceste modele sunt importante în dezvoltarea metodelor de tratare a apelor reziduale, inclusiv a celor care conțin elemente de pământuri rare. Au fost utilizat modelul cinetic de ordinul întâi, modelul cinetic de ordinul pseudo-doi și modelul Elovich. Parametrii modelelor aplicate, obținuți la descrierea datelor experimentale sunt prezentați în Tabel. 3.1.

Tabelul 3.1. Cinetica biosorbției ERP de către biomasa spirulinei [22–26]

Elementele	Modelul cinetic de ordinul întâi			Modelul cinetic de ordinul pseudo – doi			Modelul Elovich		
	q_e , mg/g	k_1 , 1/min	R^2	q_e , mg/g	k_2 , g/mg·min	R^2	α , g/mg·min	β , g/mg	R^2
Y	1,53	1,79	0,99	1,53	-2,54	0,99	$1,15 \cdot 10^{43}$	69,4	0,99
Pr	1,43	2,13	0,99	1,43	26,5	0,99	$3,96 \cdot 10^{43}$	75,2	0,99
Eu	0,99	1,79	0,99	0,99	$2,83 \cdot 10^{44}$	0,99	$1,07 \cdot 10^{44}$	108	0,99
Gd	1,24	19,8	0,98	1,24	-0,6	0,97	$2,98 \cdot 10^{43}$	86,29	0,97
Er	2,5	0,67	0,99	2,5	1,18	0,98	$1,19 \cdot 10^{43}$	90,9	0,99

Datele experimentale obținute pentru toate cele cinci EPR sunt mai bine descrise de modelul cinetic de ordinul întâi, care sugerează că rata de adsorbție pe grupurile funcționale este proporțională cu numărul de grupuri funcționale libere ale sorbentului.

Modelele Langmuir și Freundlich au fost folosite pentru a descrie echilibrul de biosorbție. Constantele izotermelor sunt prezentate în Tabelul 3.2.

Tabelul 3.2. Izotermele biosorbției EPR de către biomasa *A. platensis* [22–26]

Elementele	Langmuir			Freundlich		
	q_m , mg/g	b , L/mg	R^2	K_F	n	R^2
Y	719	0,0002	0,97	0,17	0,99	0,97
Pr	99	0,0019	0,95	0,06	1,2	0,99
Eu	89	0,0009	0,99	0,09	1,06	0,99
Gd	101	0,0081	0,97	0,09	0,84	0,98
Er	30	0,006	0,96	0,1	0,87	0,98

Modelul Freundlich descrie cel mai bine datele privind biosorbția EPR de către cianobacteria *A. platensis*, deoarece coeficienții de determinare depășesc 0,97. Aplicabilitatea modelului Freundlich presupune că adsorbția are loc pe suprafețe eterogene ca adsorbție în straturi multiple. În cazul Pr și Eu, valorile coeficientului n au fost mai mari de 1,0, indicând că chemosorbția poate fi principalul mecanism de biosorbție pentru aceste elemente [27]. Capacitatea maximă de adsorbție pentru Y, calculată folosind modelul Langmuir a fost de 719,8 mg/g, ceea ce depășește semnificativ valorile obținute pentru alte elemente (Tabelul 3.2).

Pentru a evalua fezabilitatea și a confirma natura procesului de adsorbție, au fost calculate constantele termodinamice, și anume modificarea energiei libere (ΔG°), modificarea entalpiei (ΔH°) și modificarea entropiei (ΔS°).

Valorile negative ale ΔG° obținute pentru toate EPR indică spontaneitatea procesului de biosorbție și de asemenea, indică că adsorbția este un proces fizic [28]. Valoarea negativă a ΔH° indică tipul exotermic al sorbției. Deoarece valorile ΔH° au fost mai mici de 25 kJ/mol sorbția poate fi considerată fizică [29]. Valorile negative ale ΔS° obținute pentru Y, Eu și Gd indică o scădere a aleatorității la interfața solid/soluție în timp ce valoarea pozitivă a ΔS° pentru Pr și Er indică aleatoritatea la interfața solid/soluție [22–26].

4. BIOACUMULAREA IONILOR EPR DE CĂTRE CIANOBACTERIA *A. PLATENSIS*

Capitolul 4 „Bioacumularea ionilor EPR de către cianobacteria *Arthrospira platensis*” este dedicat evaluării eficienței bioacumulării ionilor EPR de către spirulina. Experiențele au fost efectuate la concentrații EPR în mediul nutritiv de 10, 20 și 30 mg/L. În figura 4.1 este prezentată schema experienței de bioacumulare a Y, Pr, Eu, Gd, Er de către biomasa *A. platensis*.

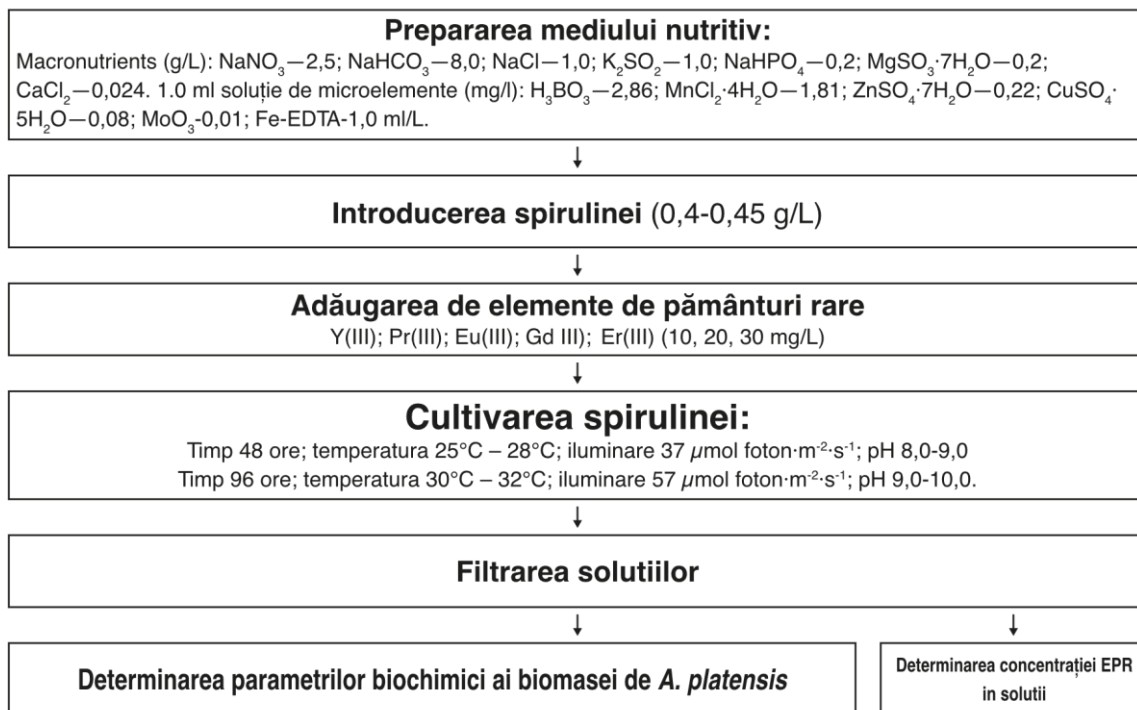


Figura 4.1. Schema experimentală de bioacumulare și evaluare a influenței EPR asupra compoziției biochimice a biomasei *A. platensis*

4.1. Eficiența de bioacumulare a EPR de către biomasa *A. platensis*

În experiențele de bioacumulare, a fost evaluată influența EPR asupra eficienței de acumulare a cianobacteriei *A. platensis*. Rezultatele obținute sunt prezentate în Figura 4.2.

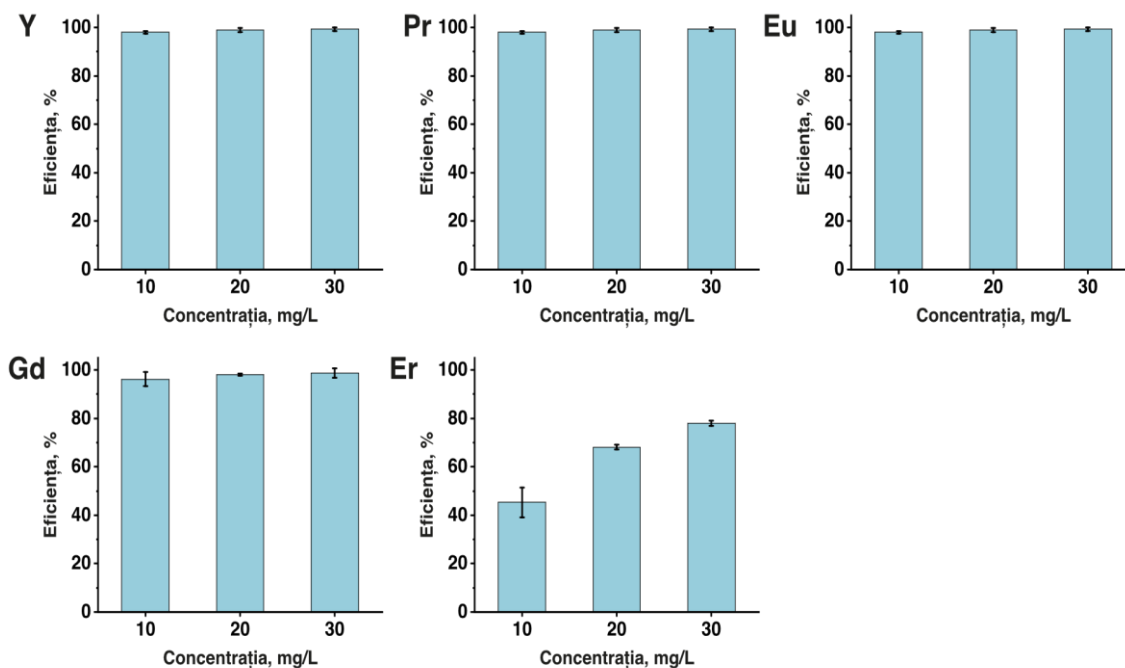


Figura 4.2. Eficiența de bioacumulare a EPR de către cianobacteria *A. platensis* în funcție de concentrația elementului

Atunci când *A. platensis* a fost expusă la ioni de Y, cea mai mică eficiență de îndepărtare de 29% a fost observată la concentrația Y de 10 mg/L. La concentrații mai mari, eficiența de îndepărtare a Y a fost de aproximativ 60–70%. În același timp, indiferent de concentrația utilizată, eficiența de acumulare a Pr de către biomasa a depășit 99%. Eficiența de îndepărtare a Eu a fost de 98–99% la toate concentrațiile testate [25]. Cianobacteria *A. platensis* a acumulat 96–98% din ionii de Gd [26]. Adăugarea Er în mediul de cultivare a dus la acumularea a 45–78% de ioni din soluție [22].

4.2. Efectul concentrației EPR asupra cantității de biomasa de *A. platensis*

Acumularea biomasei cianobacteriei *A. platensis* într-un ciclu de cultivare în sistem închis a fost monitorizată atât în condiții standard (martor), cât și la utilizarea EPR în concentrații de 10–30 mg/L. Rezultatele sunt prezentate în Figura 4.3.

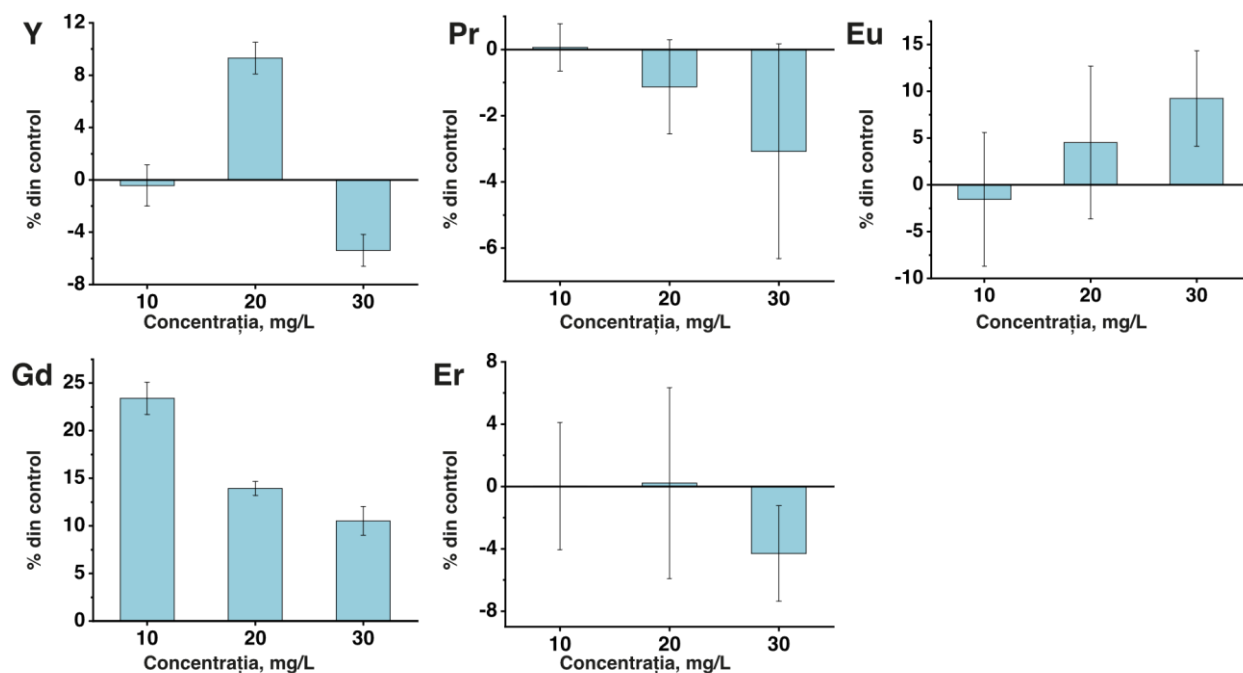


Figura 4.3. Efectul concentrației inițiale a EPR asupra cantității de biomasa de *A. platensis*

La concentrația Y de 10 mg/L nu a fost observată nicio diferență între productivitatea biomasei în probele martor și experimentale. Concentrația de 20 mg/L a determinat o creștere a cantității de biomasa cu 9,3%, iar concentrația de 30 mg/L — o scădere cu 4,6% față de martor [23]. Concentrațiile Pr 10 și 20 mg/L nu au afectat cantitatea de biomasa acumulată în cultura de *A. platensis* [24]. La concentrația de 30 mg/L s-a observat o scădere ușoară a acestui indicator. În cazul Eu, cantitatea de biomasa acumulată în probele martor și experimentale a fost foarte similară [25]. Gd nu a inhibat acumularea biomasei *A. platensis*, ci, dimpotrivă, chiar a sporit

creșterea acesteia. Astfel, la concentrația de 10 mg/L, cantitatea biomasei de *A. platensis* a fost cu 23,4% mai mare comparativ cu martorul și a scăzut în continuare, dar a rămas totuși semnificativ mai mare în comparație cu martorul [26]. Concentrațiile Er aplicate nu au afectat acumularea biomasei *A. platensis* [22]. Cantitatea de biomasă în toate variantele experimentale a fost în limitele normei fiziologice caracteristice pentru *A. platensis*.

4.3. Modificarea conținutului de proteine și carbohidrați în biomasa *A. platensis* sub influența EPR

Compoziția biochimică a biomasei *A. platensis* a fost supusă unor modificări sub influența ionilor EPR. A fost studiat efectul EPR asupra conținutului de proteine și carbohidrați în biomasa spirulinei (Fig. 4.4).

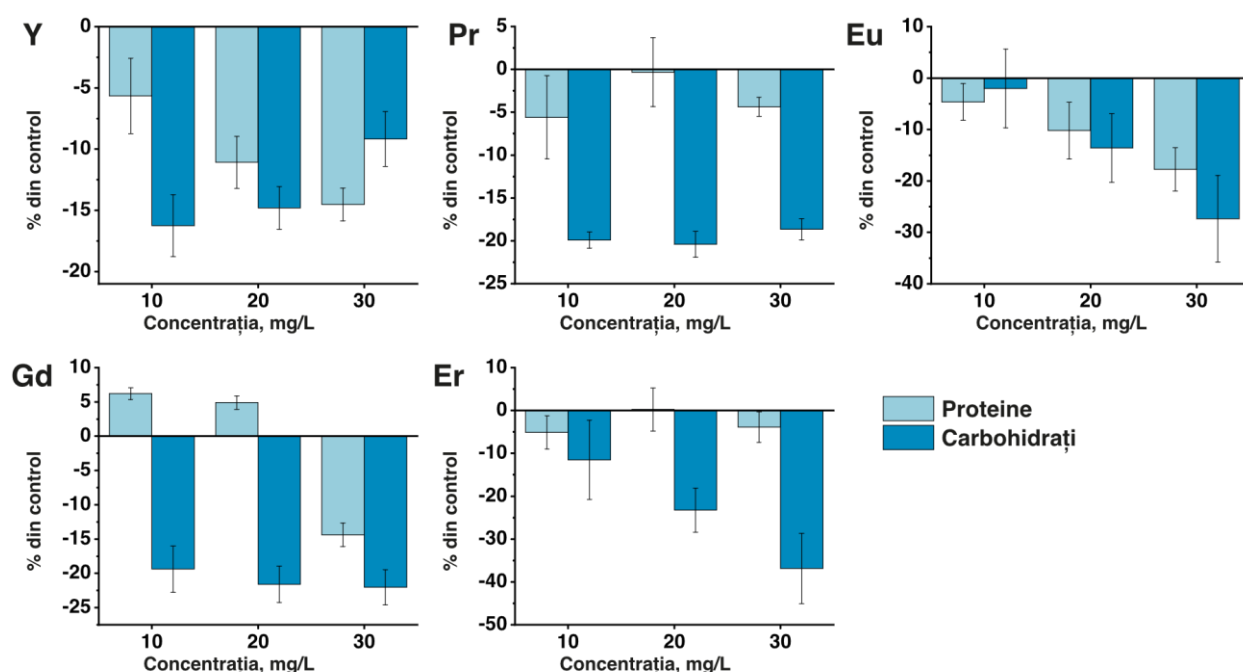


Figura 4.4. Efectul concentrației EPR asupra conținutului de proteine și carbohidrați în biomasa *A. platensis*

În experiența cu Y conținutul de proteine în biomasa martor a fost de 63,65% din biomasa uscată, iar în variantele experimentale a constituit 54,4–60,05%, ceea ce corespunde unei scăderi de 5,7–14,5% față de martor [23]. Prezența Pr în mediul nutritiv nu a afectat conținutul de proteine în biomasa *A. platensis*, care a variat de la 58,95 până la 61,65% din biomasa uscată [24]. Efectul toxic al Eu a fost direct proporțional creșterii concentrației metalului în mediu și la 30 mg/L a atins valori apropiate de nivelul critic pentru *A. platensis*. Astfel, la concentrația Eu de 30 mg/L, conținutul de proteine în biomasă a fost de 50,7%, ceea ce este cu 17,7% mai puțin decât în cazul martorului [25]. În cazul ionilor de Gd s-a observat o

creștere ușoară a conținutului de proteine — de la 66,1% din biomasa uscată în proba martor până la 70,2 și 69,3%, la concentrații de 10 și 20 mg/L, respectiv. Cu toate acestea, la o concentrație a Gd de 30 mg/L, cantitatea de proteine a fost de 56,6% din biomasa uscată [26]. Utilizarea diferitelor concentrații de ioni de Er a dus la o ușoară modificare a conținutului de proteine în biomasa *A. platensis* — 58,5–61,8%, în timp ce în proba martor valoarea a fost de 61,65% din biomasa uscată [22].

Conținutul de carbohidrați în biomasa *A. platensis* expusă la ionii de Y a variat de la 13,18 până la 11,03% din biomasă și a scăzut cu 17–16,25% în comparație cu martorul [23]. La concentrațiile Pr aplicate s-a observat o scădere a carbohidraților cu 18,7 – 20,4% față de martor [24]. La concentrațiile Eu de 10 și 20 mg/L conținutul de carbohidrați în biomasa *A. platensis* nu s-a modificat semnificativ față de valoarea martor, iar la 30 mg/L — a scăzut cu 27,4% [25]. Cantitatea de carbohidrați din biomasa *A. platensis* cultivată pe mediu cu adăugare de Gd în toate variantele experimentale a scăzut față de martor — cu 19,4–22,0% [26]. Concentrațiile Er de 10 și 20 mg/L nu au afectat cantitatea de carbohidrați în biomasa *A. platensis*, iar la concentrația de 30 mg/L acest indicator a scăzut cu 36,7% față de martor [22].

4.4. Modificarea conținutului de lipide și malondialdehidă (MDA) în biomasa *A. platensis* sub influența EPR

A. platensis este un organism cu un conținut scăzut de lipide, care se găsesc în membrane și asigură funcționarea celulei în ansamblu. În experimentele cu adăugarea ionilor de Y și Gd în mediul nutritiv la concentrații de 10 și 20 mg/L, conținutul de lipide a fost la nivelul martorului, în timp ce adăugarea metalelor la o concentrație de 30 mg/L a dus la o creștere a conținutului de lipide cu 30,7 și 12,9%, respectiv (Fig. 4.5) [23, 26].

Cantitatea de lipide în biomasa crescută pe un mediu care conține Pr, Eu și Er a fost semnificativ mai mică decât în proba martor. Adăugarea Pr a dus la o scădere a conținutului de lipide cu 7,5–22,7% comparativ cu martorul [24]. Sub influența Eu, scăderea a fost de 24,2–36,9% [25]. În experimentele cu Er au fost observate semne de toxicitate pentru cultura *A. platensis*. Conținutul lipidic în biomasa martor a fost 4,4% din biomasa uscată, în timp ce în variantele experimentale a fost puțin mai mare de un procent [22].

În experiențele cu Y, cantitatea de malondialdehidă în biomasa martor a fost de 9,35 nmol/g biomasă uscată, iar în probele experimentale conținutul acestui marker de stres oxidativ a fost de 1,78–2,38 ori mai mare. A fost obținută o relație clară doză-efect, care a dovedit efectul toxic al Y asupra *A. platensis* [23]. Cantitatea de MDA a crescut sub influența Pr cu 38,2–89,8% față de martor [24], iar în cazul Eu și Gd — cu 41–73% și, respectiv, cu 58,0–79,0% [22]. În

experimentele cu Er, cantitatea de MDA în variantele experimentale a fost de 1,3–2,0 ori mai mare decât în proba martor, ceea ce indică o stare de stres oxidativ [22].

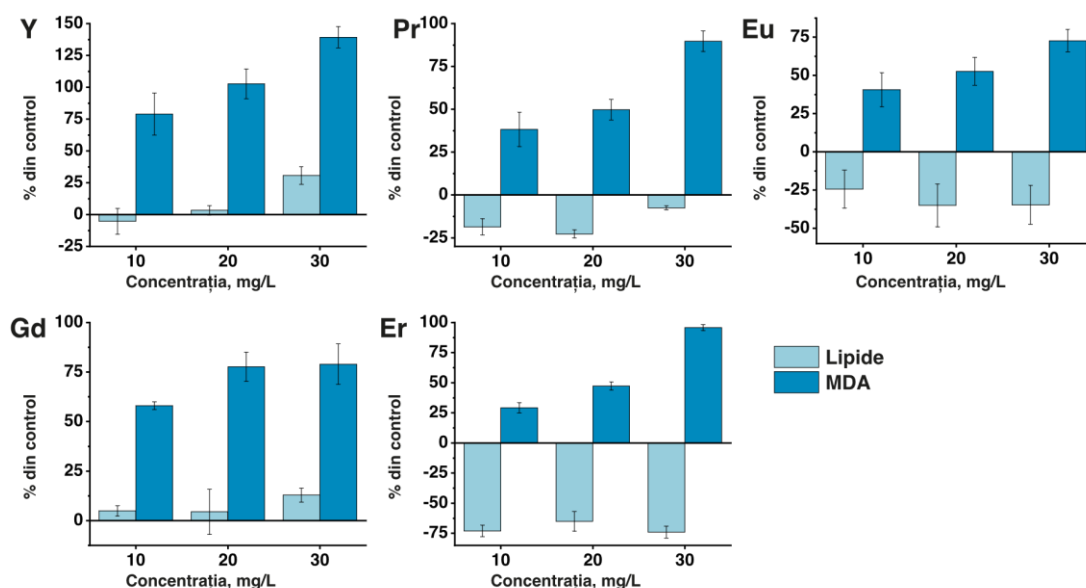


Figura 4.5. Efectul concentrației EPR asupra conținutului de lipide și MDA în biomasa *A. platensis*

4.5. Modificarea conținutului de pigmenți în biomasa *A. platensis* sub influența EPR

A fost evaluat efectul diferitelor concentrații de EPR asupra conținutului de pigmenți fotosintetici în biomasa de spirulină. Rezultatele obținute sunt prezentate în Figura 4.6.

La adăugarea 10 mg/L de Y în mediul nutritiv, cantitatea de ficobiliproteine în biomasă a fost de 17,93%, ceea ce practic nu diferă de valoarea martor, iar odată cu creșterea concentrației elementului, a scăzut cu 18–27% față de martor [23]. În experiențele cu Pr, conținutul de ficobiliproteine totale în biomasa martor a fost de 17,3% din biomasa uscată, iar în variantele experimentale valorile au fost de 16,4–17,7% [24]. Concentrațiile de Eu aplicate au modificat conținutul de ficobiliproteine în biomasa spirulinei cu 5–10% [25]. Adăugarea Gd a redus semnificativ conținutul de pigmenți (cu 11,2–27,9 % față de martor) [26], în timp ce în experiențele cu Er, nu au apărut modificări semnificative [22].

În probele martor, conținutul de α -clorofilă a variat de la 1 până la 1,25% din biomasa uscată. Atunci când Y a fost introdus în mediul nutritiv conținutul de clorofilă α din probele experimentale a variat de la 1,05 până la 1,28% din biomasa uscată [23]. Cantitatea de clorofilă α în biomasa *A. platensis* a crescut cu 13,2% față de martor la o concentrație a Pr de 10 mg/L, în timp ce la alte concentrații valoarea acestui indicator nu s-a modificat semnificativ [24]. Adăugarea Eu a dus la o creștere a concentrației de clorofilă α cu 2,5–13,4% [25]. În prezența

Gd, cantitatea de clorofilă α în biomasă nu s-a schimbat [26]. Sub influența Er s-a observat o creștere a conținutului de pigmenți de la 2 până la 10% comparativ cu martorul [22].

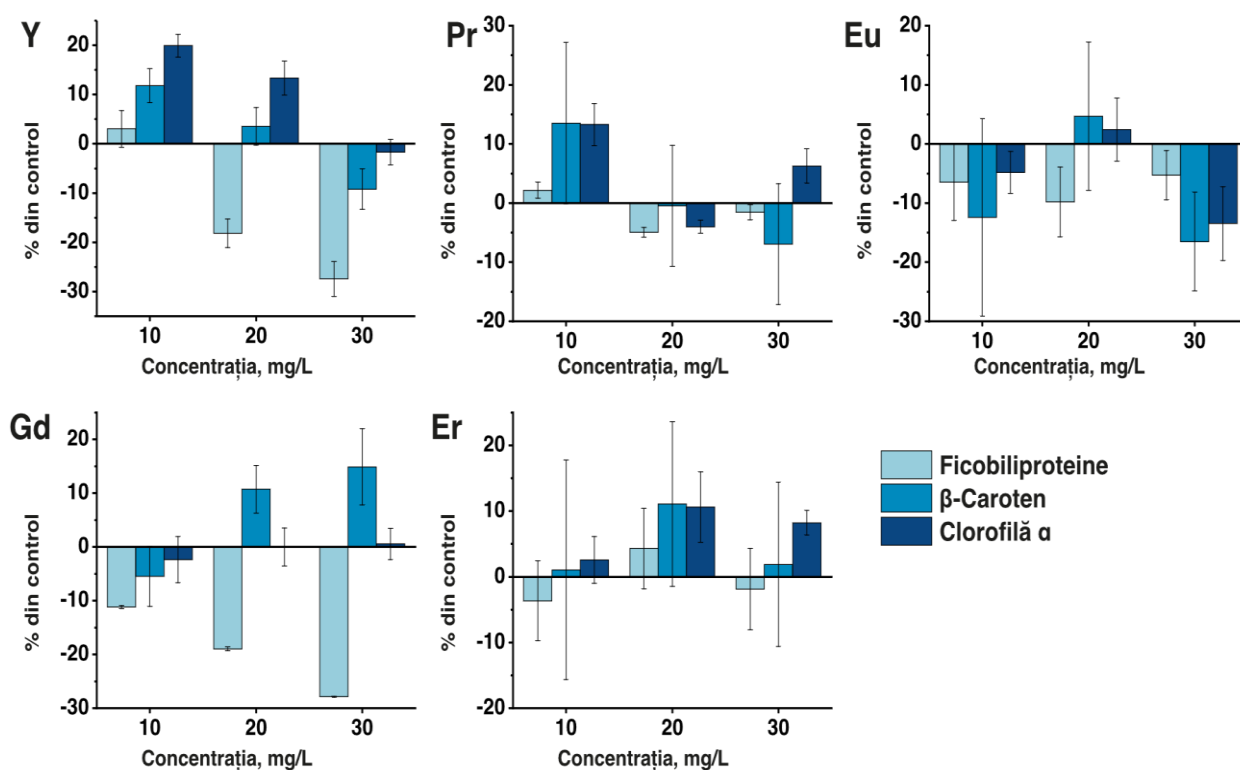


Figura 4.6. Efectul diferitelor concentrații a EPR asupra conținutului de pigmenți în biomasă *A. platensis*

Adăugarea ionilor de Y în concentrații de 10 și 20 mg/L în mediul nutritiv a dus la o creștere a cantității de β -caroten cu 11,2, și respectiv cu 3,5%, în timp ce concentrația de 30 mg/L a scăzut conținutul acestuia cu 9,2% față de martor [23]. În experimentele cu Pr, conținutul de β -caroten nu s-a modificat semnificativ [24]. O scădere a cantității de β -caroten a fost observată la o concentrație a Eu de 30 mg/L și a constituit 16,4% din valoarea de control [25]. În experimentele cu Gd, cantitatea de β -caroten în martor a fost de 0,25% din biomasă uscată, și a variat de la 0,24 la 0,29% din biomasă uscată atunci când a fost aplicat metalul [26]. În cazul Er, conținutul pigmentului în probele experimentale a fost apropiat de valorile martorului (0,24–0,27% din biomasă), care sunt valori fiziologice caracteristice pentru *A. platensis*.

Rezultatele obținute pentru pigmenții fotosintetici arată că conținutul acestora în celulele spirulinei a rămas la un nivel caracteristic stării fiziologice normale a culturii.

4.6. Activitatea antioxidantă a extractelor din biomasa *A. platensis* sub influența EPR

S-a măsurat activitatea extractelor etanolice și hidrice față de cationul radical $ABTS^{\cdot+}$ obținut din biomasa *A. platensis* crescută pe un mediu suplimentat cu elemente de pământuri rare. Figura 4.7 prezintă datele obținute la adăugarea EPR în mediul nutritiv.

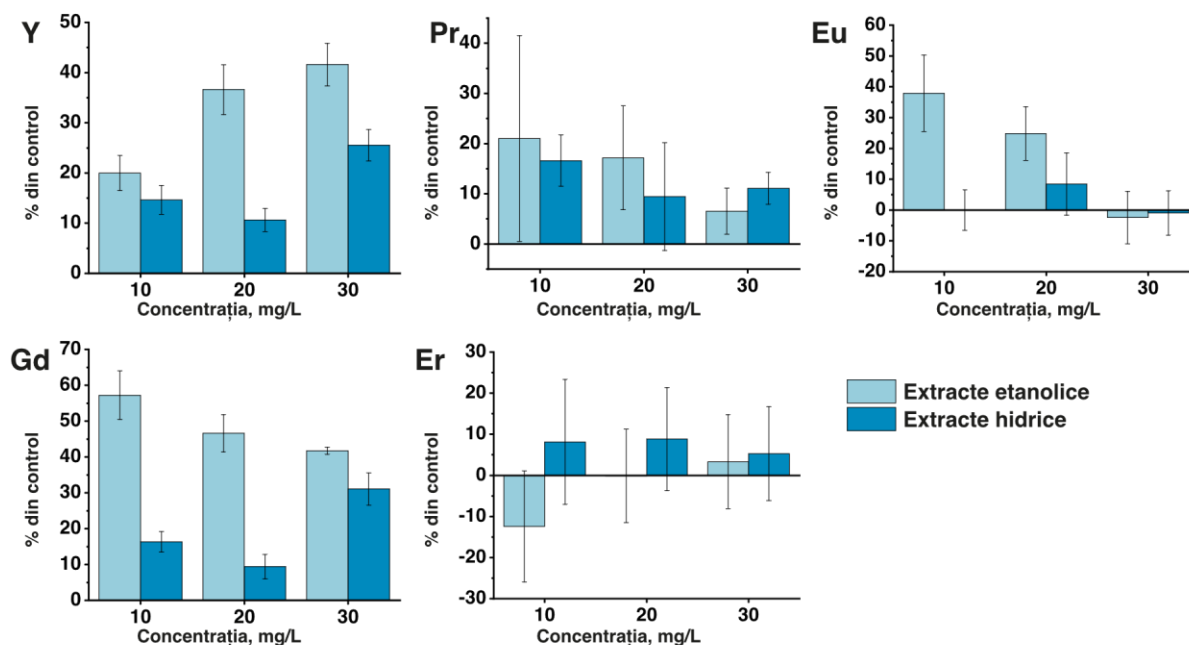


Figura 4.7. Efectul concentrației inițiale a EPR asupra activității antioxidante a extractelor din biomasa *A. platensis*

În experimentele cu Y, extractul hidric obținut din biomasa crescută pe un mediu cu 10 mg/L Y a fost cu 19,97% mai activ față de cationul radical $ABTS^{\cdot+}$ comparativ cu martorul. Pe măsură ce concentrația de metal a crescut, a crescut și activitatea extractului. Extractele etanolice în variantele experimentale au fost cu 10,63–25,53% mai active în comparație cu martorul. [23]. În experiențele cu Pr, ambele tipuri de extracte au avut o activitate antiradicalică foarte similară. Extractele hidrice au depășit controlul cu 6,5–32,7% în funcție de concentrația Pr. Pentru extractele etanolice la fel s-a observat o creștere a activității cu 11,0–18,8% față de martor [24]. Activitatea extractului etanolic a fost la nivelul martorului pentru toate concentrațiile de Eu. Activitatea extractului hidric la concentrația Eu de 10 mg/L a fost mai mare decât valoarea martorului cu 37,9% și apoi a scăzut la nivelul martorului [25]. S-a constatat o creștere semnificativă a activității extractului hidric sub influența diferitelor concentrații de Gd. Astfel, creșterea maximă a activității extractului hidric a fost de 57,2% la 10 mg/L, iar activitatea extractului alcoolic a fost de 32,1% la 30 mg/L Gd [26]. Activitatea extractelor etanolice și hidrice din biomasa *A. platensis* crescută într-un mediu care conține Er a fost la nivelul martorului la

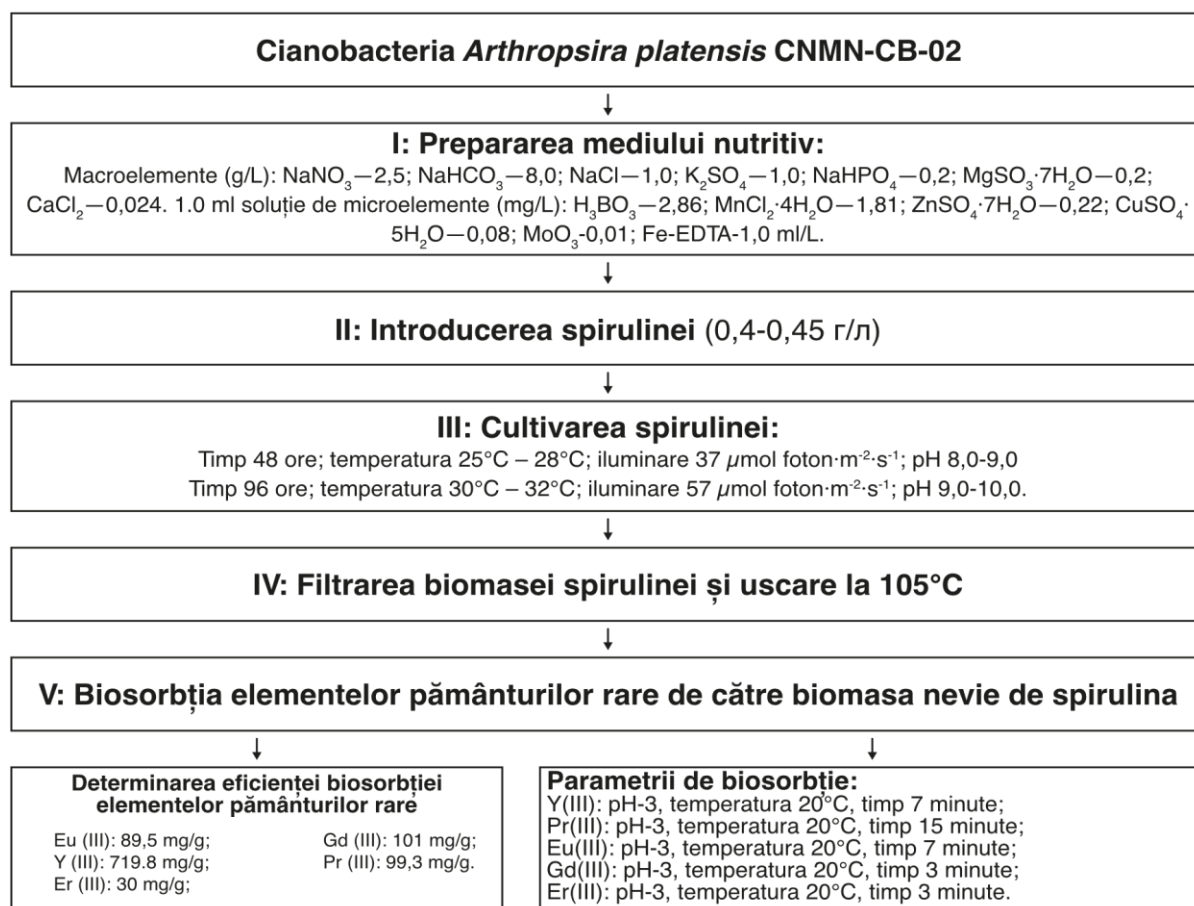
toate concentrațiile. Conform datelor noastre, acesta este primul element de pământuri rare care nu provoacă o modificare a capacității de inhibiție a cationului radical ABTS^{•+}. Păstrarea activității antioxidante la un nivel caracteristic biomasei martor indică adaptarea *A. platensis* la Er [22].

5. TEHNOLOGII DE ÎNDEPARTAREA EPR DIN MEDIUL ACVATIC FOLOSIND CIANOBACTERIA *A. PLATENSIS*

În conformitate cu cele două mecanisme care stau la baza îndepărtării EPR — biosorbția și bioacumularea, și pe baza rezultatelor descrise în capitolele 3 și 4, au continuat cercetările pentru elaborarea tehnologiei de îndepărtare a EPR prin (1) biosorbție pe biomasa uscată de spirulina și (2) bioacumularea de către cultura vie a spirulinei.

5.1. Tehnologie de îndepărtare a EPR din apele reziduale folosind biomasa uscată de *A. platensis*

Figura 5.1 prezintă etapele de implementare a tehnologiei.

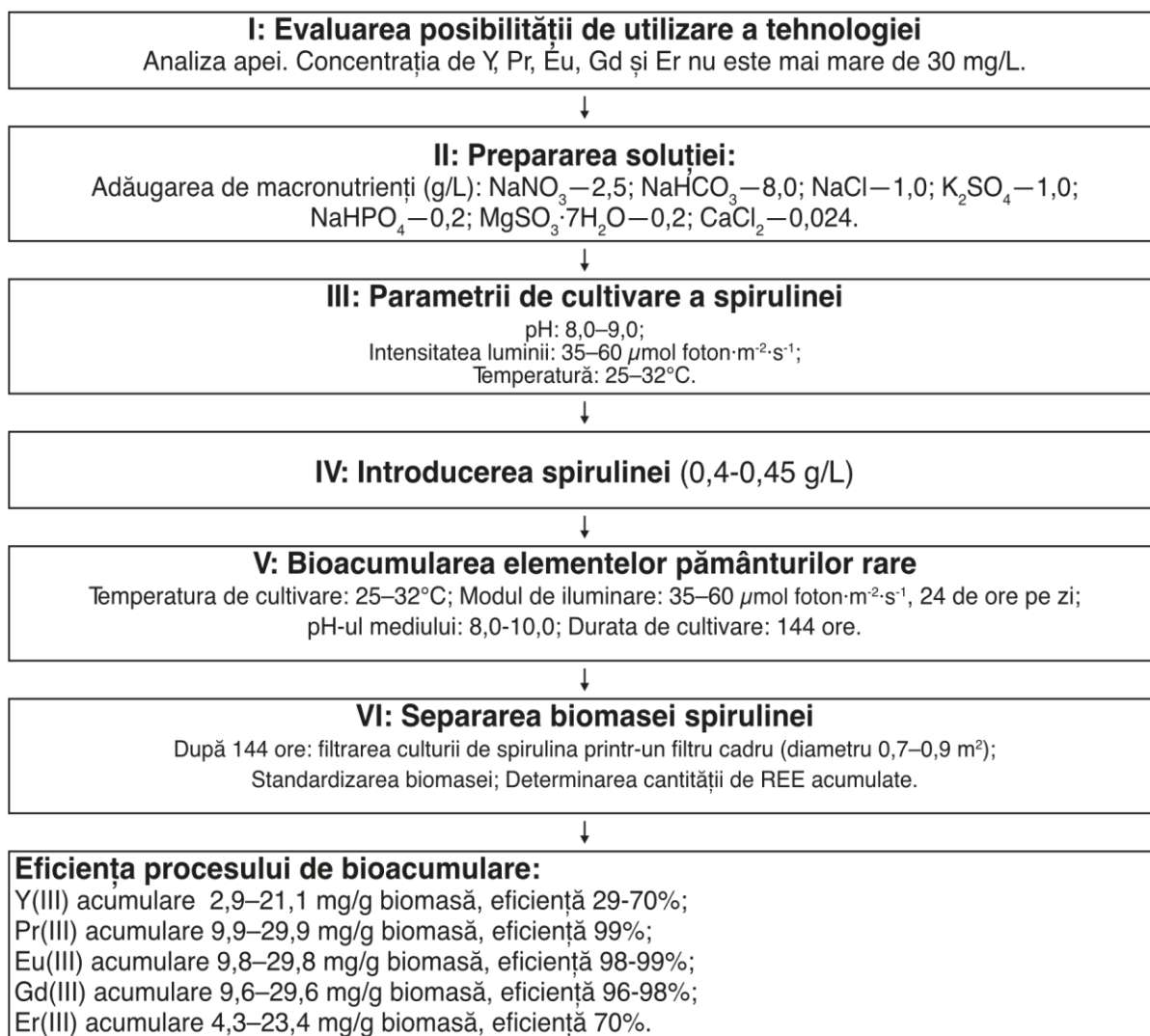


Figurile 5.1. Tehnologia de îndepărtare a elementelor pământurilor rare prin biosorbție pe biomasa uscată de *A. platensis*.

Această tehnologie se bazează în întregime pe utilizarea biomasei uscate a spirulinei ca sorbent. Astfel, una dintre etapele principale ale tehnologiei este producerea sorbentului. Aceasta include pregătirea mediului nutritiv, alimentarea acestuia în bioreactor, inocularea spirulinei, creșterea spirulinei (un ciclu de creștere a culturii într-un sistem închis), colectarea, standardizarea și uscarea biomasei. Biomasa uscată este apoi utilizată pentru a îndepărta EPR printr-un mecanism de biosorbție. Tehnologia dezvoltată pentru îndepărtarea elementelor de pământuri rare realizează o eficiență mare pentru patru elemente studiate (Y, Pr, Gd, Eu) și o eficiență medie pentru Er.

5.2. Tehnologie de îndepărtare a EPR prin bioacumulare de către *A. platensis*

Etapele implementării schemei tehnologice sunt prezentate în Figura 5.2.



Figurile 5.2. Tehnologia de îndepărtare a elementelor pământurilor rare din apele reziduale prin bioacumulare de către *A. Platensis*

Cultura vie de *A. platensis* are capacitatea de a acumula EPR datorită unor mecanisme bazate pe similitudinea acestora cu elementele esențiale pentru creșterea cianobacteriei. În același timp, concentrațiile acestor elemente ar trebui să fie mici, pentru a nu afecta procesele vitale în celulele spirulinei. Astfel, spirulina este un bioremediator care poate fi utilizat în procesele de tratare a apelor reziduale în care elementele de interes se găsesc în cantități care nu pot fi îndepărtate prin metodele tradiționale de tratare. Pe baza datelor obținute în Capitolul 4, a fost elaborată o tehnologie de bioacumulare a EPR de către spirulina, care include ajustarea apelor care conțin EPR la nevoile culturii de *A. platensis*, cultivarea în condiții cât mai apropiate de cele optime pentru cianobacterie, separarea biomasei de spirulină și evaluarea eficienței procesului de bioacumulare.

5.3. Aplicarea tehnologiilor dezvoltate pentru alte EPR — Dy și Tb.

Tehnologia dezvoltată a fost testată asupra altor elemente de pământuri rare — Dy și Tb. Inițial, au fost identificate condițiile optime a procesului. În acest scop, au fost efectuate experimente de biosorbție. Adsorbția maximă a fost obținută la pH-ul 3,0 pentru ambele metale: 50% Dy și 66% Tb [1, 2]. Cea mai mare adsorbție a Dy a fost obținută după 60 de minute de contact, ajungând la 66% [1]. Pentru Tb eficiența de îndepărtare a crescut în primele 3 minute de interacțiune a sorbatului cu sorbentul, ajungând la 60% [2]. Capacitatea maximă de adsorbție a spirulinei a fost obținută la o concentrație de Dy(III) de 50 mg/L (2,3 mg/g) și a rămas constantă [1]. Când concentrația inițială de Tb a crescut de la 10 până la 100 mg/L, cantitatea de element adsorbită a crescut de la 5,7 la 85,8 mg/g [2]. Eficiența biosorbției Dy în intervalul de temperatură 20–50°C a fost de 59% [1]. Eficiența de îndepărtare a Tb a atins un maxim de 56% la 20°C și a scăzut la 52% odată cu creșterea temperaturii [2].

- Capacitatea de sorbție pentru Dy a fost de 3,24 mg/g (eficiență maximă— 66%);
- Capacitatea de sorbție pentru Tb a fost de 212 mg/g (eficiență maximă— 66%). Astfel, tehnologia dezvoltată a arătat o eficiență medie pentru Dy și Tb.

Pentru Dy și Tb a fost aplicată și schema tehnologică de bioacumulare a elementelor de pământuri rare (la concentrații ale elementelor în soluție de 10–30 mg/l). Au fost obținute următoarele rezultate:

- - Acumularea Dy a variat de la 8,9 la 25,5 mg/g, eficiența procesului a fost de 85–90% [3];
- - Acumularea Tb a fost de 0,7–1,5 mg/g, eficiența îndepărtării nu a depășit 19% [3].

Tehnologiile dezvoltate includ secvențe operaționale ale unui flux tehnologic integral cu o descriere a punctelor intermediare și finale de control al calității și eficiența procesului.

CONCLUZII ȘI RECOMANDĂRI

Rezultatele obținute, care corespund scopului și obiectivelor stabilite în teză, au permis să formulăm următoarele concluzii generale:

1. Au fost determinați parametrii optimi pentru biosorbția ytriului, praseodimului, europiului, gadoliniului și erbiului de către biomasa cianobacteriei *Arthrospira platensis*. Eficiența maximă de îndepărtare a ionilor metalici a fost atinsă la pH 3, temperatura soluției — de 20°C și timpul de sorbție — de 3 minute pentru Gd, Er, 7 minute pentru Y, Eu și 15 minute pentru Pr (Capitolul 3).

2. Parametrii termodinamici obținuți indică că biosorbția elementelor de pământuri rare studiate este un proces spontan și exotermic. Datele experimentale au fost mai bine descrise de modelul cinetic de ordinul întâi, care presupune că rata de adsorbție pe grupurile funcționale este proporțională cu numărul de grupuri funcționale libere ale sorbentului. Aplicabilitatea modelului de echilibru Freundlich indică faptul că adsorbția are loc pe o suprafață eterogenă ca adsorbție în straturi multiple (Capitolul 3).

3. Bioacumularea EPR studiate este un proces dependent de doză. Eficiența maximă de acumulare a variat de la 70 la 99%, în funcție de element și concentrația acestuia (Capitolul 4).

4. Au fost relevate particularitățile influenței elementelor pământurilor rare asupra productivității și compoziției biochimice a biomasei de *Arthrospira platensis* în procesul de bioacumulare a acestora. Introducerea EPR în mediul nutritiv al cianobacteriei nu a afectat semnificativ productivitatea biomasei. În același timp, a fost observat un efect toxic, exprimat prin scăderea conținutului de proteine, lipide și carbohidrați și creșterea nivelului de malondialdehidă. Conținutul de pigmenți păstrat la un nivel fiziologic normal a făcut posibilă menținerea activității vitale a cianobacteriei la un nivel normal (Capitolul 4).

5. Conform datelor experimentale, în timpul bioacumulării, îndepărtarea EPR studiate din soluție a fost mai mare comparativ cu experimentele de biosorbție, indicând eficiența ridicată a acestui proces. Cu toate acestea, datorită valorii ridicate a biomasei de *Arthrospira platensis* și a costurilor de cultivare a acesteia, în scopuri industriale este mai adecvată utilizarea biomasei (deșeurilor biotehnologice) ca sorbent (Capitolul 3, 4).

6. Au fost elaborate scheme tehnologice de biosorbție și bioacumulare a elementelor din pământuri rare din apele reziduale, care permit introducerea tehnologiei de tratare în ciclul de epurare al întreprinderilor atât pentru elementele studiate în lucrare, cât și pentru alte elemente de pământuri rare.

Rezultatul obținut, care a contribuit la soluționarea unei probleme științifice importante consta în justificarea științifică a aplicabilității tulpinii cianobacteriei *Arthrospira platensis* CNMN-CB-02 pentru biosorbția și bioacumularea de ytriu, praseodim, europiu, gadolinu și erbiu din soluții apoase, ceea ce a condus la dezvoltarea unor noi tehnologii de tratare a apelor reziduale care conțin EPR.

Din punct de vedere teoretic, au fost acumulate noi date privind eficiența și condițiile de biosorbție a ytriului, praseodimului, europiului, gadoliniului și erbiului de către biomasa cianobacteriei *Arthrospira platensis*. Au fost determinate condițiile optime de îndepărtare a elementelor pământurilor rare și au fost descrise principalele mecanisme de sorbție. De asemenea, în premieră au fost obținute date despre impactul elementelor pământurilor rare asupra productivității biomasei, precum și asupra nivelului de acumulare a acestora în biomasă. Au fost evidențiate modificări în compoziția biochimică, conținutul de produși de degradare oxidativă a lipidelor și nivelul activității antioxidante a biomasei în timpul acumulării elementelor pământurilor rare de către spirulina.

Recomandări practice:

1. Se recomandă utilizarea cianobacteriei *Arthrospira platensis* CNMN-CB-02 pentru tratarea și post-tratarea apelor industriale care conțin elemente de pământuri rare.
2. Se recomandă utilizarea cianobacteriei *Arthrospira platensis* CNMN-CB-02 la întreprinderile de prelucrare a materiilor prime secundare care conțin elemente de pământuri rare pentru recuperarea și reciclarea acestora.

Sugestii pentru viitoare cercetări:

1. Este necesar să se studieze în continuare eficiența de îndepărtare a altor elemente de pământuri rare, precum și să se efectueze experiențe pentru îndepărtarea metalelor din apele uzate care conțin mai multe elemente concomitent.
2. Este necesară continuarea experiențelor privind dezvoltarea tehnologiei de tratare a apelor reziduale folosind biomasa de spirulină ca sorbent biologic după obținerea medicamentelor și cosmeticelor din aceasta.
3. Este necesar să se efectueze experiențe de biosorbție într-un strat fix. Datele obținute vor face posibilă introducerea metodei de tratare propuse în ciclul tehnologic al întreprinderilor industriale.

BIBLIOGRAFIE

1. Malhotra, N. et al. An updated review of toxicity effect of the rare earth elements (REEs) on aquatic organisms. In: *Animals*. 2020, vol. 10, nr. 9, p.1663. ISSN 2076-2615.
2. Laveuf, C., Cornu, S. A review on the potentiality of rare earth elements to trace pedogenetic processes. In: *Geoderma*. 2009, vol. 154, nr. 1–2, pp.1-12. ISSN 0016-7061.
3. Brouziotis, A.A. et al. Toxicity of rare earth elements: An overview on human health impact. In: *Frontiers in Environmental Science*. 2022, vol. 10, p.948041. ISSN 2296-665X.
4. Dev, S. et al. Mechanisms of biological recovery of rare-earth elements from industrial and electronic wastes: A review. In: *J. Chem. Eng.* 2020, vol. 397. p.124596. ISSN 1385-8947.
5. Binnemans, K. et al. Recycling of rare earths: A critical review. In: *Journal of Cleaner Production*. 2013, vol. 51. pp.1-22. ISSN 0959–6526.
6. Chen, Qing: Study on the adsorption of lanthanum (III) from aqueous solution by bamboo charcoal. In: *Journal of Rare Earths*. 2010, vol. 28, pp.125-131. ISSN 1002–0721.
7. Filote, C. et al. Sustainable application of biosorption and bioaccumulation of persistent pollutants in wastewater treatment: Current practice. In: *Processes*. 2021, vol. 9, p.1696. ISSN 2227–9717.
8. Timková, I., Sedláková-Kaduková, J., Pristaš, P. Biosorption and bioaccumulation abilities of actinomycetes/streptomycetes isolated from metal contaminated sites. In: *Separations*. 2018, vol. 5, nr. 4, p.54. ISSN 2297–8739.
9. Chojnacka, K. Biosorption and bioaccumulation - the prospects for practical applications. In: *Environment International*. 2010, vol. 36, nr. 3, pp.299-307. ISSN 1873–6750.
10. Zinicovscaia, I. et al. Evaluation of biosorption and bioaccumulation capacity of cyanobacteria *Arthrospira (spirulina) platensis* for radionuclides. In: *Algal Research*. 2020, vol. 51, p.102075. ISSN 2211–9264.
11. Sadovsky, D. et al. Biosorption potential of cerium ions using *Spirulina* biomass. In: *Journal of Rare Earths*. 2016, vol. 34, nr. 6, pp.644-652. ISSN 1002–0721.
12. Lima, É.C. et al. Biosorption of Neodymium (Nd) from Aqueous Solutions Using *Spirulina platensis* sp. Strains. In: *Polymers*. 2022, vol. 14, nr. 21, p.4585. ISSN 2073–4360.
13. Paper, M. et al. Rare earths stick to rare cyanobacteria: Future potential for bioremediation and recovery of rare earth elements. In: *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*. 2023, vol. 11, p.1130939. ISSN 2296–4185.
14. Fritz, M. et al. High-resolution particle size and shape analysis of the first Samarium nanoparticles biosynthesized from aqueous solutions via cyanobacteria *Anabaena cylindrica*. In: *NanoImpact*. 2022, vol. 26, p.100398. ISSN 2452–0748.
15. Okajima, M.K. et al. Cyanobacterial polysaccharide gels with efficient rare-earth-metal sorption. In: *Biomacromolecules*. 2010, vol. 11, nr. 7, pp. 1773-1778. ISSN 1525–7797.
16. Koval, E., Olkova, A. Determination of the sensitivity of cyanobacteria to rare earth elements La and Ce. In: *Pol. J. Environ. Stud.* 2022, vol. 31, nr. 1, pp.985-988. ISSN 1230–1485.

17. Fischer, C.B. et al. Cyanobacterial promoted enrichment of rare earth elements europium, samarium and neodymium and intracellular europium particle formation. In: *RSC Advances*. 2019, vol. 9, nr. 56, pp. 32581-32593. ISSN 2046–2069.
18. Zinicovscaia, I. et al. Accumulation of dysprosium, samarium, terbium, lanthanum, neodymium and ytterbium by *Arthrospira platensis* and their effects on biomass biochemical composition. In: *Journal of Rare Earths*. 2021, vol. 39, nr. 9, pp.1133-1143. ISSN 1002–0721.
19. Barry, M.J., Meehan, B.J. The acute and chronic toxicity of lanthanum to *Daphnia carinata*. In: *Chemosphere*. 2000, vol. 41, nr. 10, pp.1669-1674. ISSN 0045–6535.
20. Vítová, M., Čížková, M., Zachleder, V. Lanthanides and Algae. In: Awwad N.S., Mubarak A. *Lanthanides*. IntechOpen. 2019, pp. 87-111. ISBN 978-1-78985-010-9.
21. Rudi, L. et al. Metode de analiză în ficobiotehnologie. Ghid metodic. Chisinău: S.n., 2020, (Tipogr. „Artpoligraf”), 101 p. ISBN 978-9975-3462-9-0
22. Yushin, N. et al. Application of cyanobacteria *Arthrospira platensis* for bioremediation of erbium-contaminated wastewater. In: *Materials*. 2022, vol. 15, nr. 17, p. 6101. ISSN 1996–1944.
23. Yushin, N. et al. Biosorption and Bioaccumulation Capacity of *Arthrospira platensis* toward Yttrium Ions. In: *Metals*. 2022, vol. 12, MDPI, nr. 9, p. 1465. ISSN 2075–4701.
24. Yushin, N. et al. Praseodymium (III) removal from aqueous solutions using living and non-living *Arthrospira platensis* biomass. In: *Water*. 2023, vol. 15, nr. 11, p. 2064. ISSN 2073–4441.
25. Yushin, N. et al. Biosorption and bioaccumulation capacity of *Arthrospira platensis* toward europium ions. In: *Water*. 2022, vol. 14, nr. 13, p. 2128. ISSN 2073–4441.
26. Yushin, N. et al. Cyanobacteria *Arthrospira platensis* as an Effective Tool for Gadolinium Removal from Wastewater. In: *Clean Technologies*. 2023, vol. 5, pp. 638–651. ISSN 2571-8797.
27. Cadogan, E.I., Lee, C.H., Popuri, S.R. Facile synthesis of chitosan derivatives and *Arthrobacter* sp. biomass for the removal of europium (III) ions from aqueous solution through biosorption. In: *International Biodeterioration and Biodegradation*. 2015, vol. 102, pp.286-297. ISSN 0964–8305.
28. El-Dessouky, S.I., El-Sofany, E.A., Daoud, J.A. Studies on the sorption of praseodymium (III), holmium (III) and cobalt (II) from nitrate medium using TVEX-PHOR resin. In: *Journal of Hazardous Materials*. 2007, vol. 143, nr. 1–2, pp.17-23. ISSN 0304–3894.
29. Anastopoulos, I., Bhatnagar, A., Lima, E.C. Adsorption of rare earth metals: A review of recent literature. In: *Journal of Molecular Liquids*. 2016, vol. 221, pp.954-962. ISSN 0167–7322.
30. Zinicovscaia, I. et al. The remediation of dysprosium-containing effluents using cyanobacteria *Spirulina platensis* and yeast *Saccharomyces cerevisiae*. In: *Microorganisms*. 2023, vol. 11, nr. 8. ISSN 2076–2607.
31. AL-BAGAWI, A.H. et al. Terbium removal from aqueous solutions using a In₂O₃ nanoadsorbent and *Arthrospira platensis* biomass. In: *Nanomaterials*. 2023, vol. 13, nr. 19 ISSN 2079–4991.

LISTA PUBLICAȚIILOR AUTORULUI LA TEMA TEZEI

2. Articole în reviste științifice

2.1. în reviste din bazele de date Web of Science și SCOPUS

1. **Yushin, N.**, Zinicovscaia, I., Cepoi, L., Chiriac, T., Rudi, L., Grozdov, D. Biosorption and Bioaccumulation Capacity of *Arthrospira platensis* toward Europium Ions. *Water*. 2022, 14(13), pp. 1-13. ISSN 2073-4441. DOI: 10.3390/w14132128.
2. **Yushin, N.**, Zinicovscaia, I., Cepoi, L., Chiriac, T., Rudi, L., Grozdov, D. Biosorption and Bioaccumulation Capacity of *Arthrospira platensis* toward Yttrium Ions. *Metals*. 2022, 12(9), pp. 1-17. ISSN 2075-4701. DOI: 10.3390/met12091465.
3. **Yushin, N.**, Zinicovscaia, I., Cepoi, L., Chiriac, T., Rudi, L., & Grozdov, D. Application of Cyanobacteria *Arthrospira platensis* for Bioremediation of Erbium-Contaminated Wastewater. *Materials*. 2022, 15(17), p. 6101. ISSN 1996-1944 DOI: 10.3390/ma15176101.
4. **Yushin, N.**, Zinicovscaia, I., Cepoi, L., Chiriac, T., Rudi, L., & Grozdov, D. Cyanobacteria *Arthrospira platensis* as an Effective Tool for Gadolinium Removal from Wastewater. *Clean Technologies*. 2023, 5(2), pp. 638-651. ISSN 2571-8797. DOI: 10.3390/cleantechnol5020032.
5. **Yushin, N.**, Zinicovscaia, I., Cepoi, L., Chiriac, T., Rudi, L., & Grozdov, D. Praseodymium (III) Removal from Aqueous Solutions Using Living and Non-Living *Arthrospira platensis* Biomass. *Water*. 2023, 15(11), p. 2064. ISSN 2073-4441. DOI: 10.3390/w15112064.
6. Zinicovscaia, I., **Yushin, N.**, Grozdov, D., Peshkova, A., Vergel, K., & Rodlovskaya, E. The Remediation of Dysprosium-Containing Effluents Using Cyanobacteria *Spirulina platensis* and Yeast *Saccharomyces cerevisiae*. *Microorganisms*. 2023, 11(8), p. 2009. ISSN 2076-2607. DOI: 10.3390/microorganisms11082009.
7. Al-Bagawi, A. H., **Yushin, N.**, Hosny, N. M., Gomaa, I., Ali, S., Boyd, W. C., Kalil, H., Zinicovscaia, I. Terbium Removal from Aqueous Solutions Using a In₂O₃ Nano-adsorbent and *Arthrospira platensis* Biomass. *Nanomaterials*. 2023, 13(19), p. 2698. ISSN 2079-4991. DOI: 10.3390/nano13192698.

3. Articole în lucrările conferințelor și altor manifestări științifice

3.3. în lucrările manifestărilor științifice incluse în Registrul materialelor publicate

în

baza manifestărilor științifice organizate din Republica Moldova

1. **Yushin N.**, Zinicovscaia I., Cepoi L., Chiriac T., Rudi L., Grozdov D. Biosorption and bioaccumulation capacity of *Arthrospira platensis* toward yttrium ions. In: Abstract Book "Natural sciences in the dialogue of generations", national conference. The National Conference with international participation, September 14-15, 2023, Chisinau, Republic of Moldova, p. 195. ISBN 978-9975-3430-9-1. 082 N 26 UDC: 582.232:591.5
2. **Yushin N.**, Zinicovscaia I., Cepoi L., Chiriac T., Rudi L., Grozdov D. Cyanobacteria *Arthrospira platensis* as an effective tool for gadolinium removal from wastewater. In: Abstract Book "Natural sciences in the dialogue of generations", national conference.

The National Conference with international participation, September 14-15, 2023, Chisinau, Republic of Moldova, p. 196. ISBN 978-9975-3430-9-1. 082 N 26 UDC: 582.232:628.16:546.662

3a. Teze în lucrările conferințelor și altor manifestări științifice

3.2a. în lucrările manifestărilor științifice incluse în alte baze de date acceptate de către ANACEC

1. **Yushin N.**, Zinicovscaia I., Cepoi L., Grozdov D. Biosorption of europium by *Spirulina platensis* biomass. In: Book of Abstracts – RAD 2022 Conference (Spring Edition), June 13-17, 2022, Herceg Novi, Montenegro, p. 49. ISBN: 978-86-901150-4-4. <https://doi.org/10.21175/rad.spr.abstr.book.2022.13.4>
2. **Yushin N.**, Zinicovscaia I., Cepoi L., Chiriac T., Rudi L., Grozdov D. Cyanobacteria *Arthrospira platensis* as an effective tool for gadolinium removal from wastewater. In: Fundamental Interactions & Neutrons, Nuclear Structure, Ultracold Neutrons, Related Topics, 30th International Seminar on Interaction of Neutrons with Nuclei (ISINN-30), 14 – 18 April 2024. Sharm El Sheikh, Egypt, p. 132. ISBN 978-5-9530-0613-2

3.3a. în lucrările manifestărilor științifice incluse în Registrul materialelor publicate în baza manifestărilor științifice organizate din Republica Moldova

3. **Yushin N.**, Zinicovscaia I., Cepoi L., Chiriac T., Rudi L. Europium bioaccumulation by *Arthrospira platensis* and its effect on biomass. In: Abstract book "Life sciences in the dialogue of generations: Connections between Universities, Academia and Business Community", national conference with international participation, September 29-30, 2022, Chisinau, Republic of Moldova, p. 199. ISBN 978-9975-159-80-7. CZU: 546.661:620.925
4. **Yushin N.**, Zinicovscaia I., Cepoi L., Chiriac T., Rudi L. and Grozdov D. Metal removal from erbium -containing wastewater using *Arthrospira platensis*. In: International Scientific Conference on Microbial Biotechnology 5th edition, 12-13 October 2022, Chisinau, Republic of Moldova, p. 65. ISBN 978-9975-3555-6-8. – ISBN 978-9975-3555-7-5 (PDF). CZU:628.35:582.232 <https://doi.org/10.52757/imb22.43>

АННОТАЦИЯ

Юшин Никита, Технологии извлечения редкоземельных элементов с использованием цианобактерий *Arthrospira platensis*. Диссертация кандидата биологических наук, Кишинев, 2024

Структура диссертации: Аннотация (на русском, румынском и английском языках), введение, пять глав, выводы и рекомендации, библиография из 272 источников, 21 рисунка, 7 таблиц и 112 страниц основного текста. Результаты диссертации отражены в 13 научных публикациях, включая 7 статей в реферируемых Scopus и WoS журналах.

Ключевые слова: редкоземельные элементы, иттрий, празеодим, европий, гадолиний, эрбий, *Arthrospira platensis*, спирулина, биоремедиация, загрязнение; биосорбция, биоаккумуляция, кинетика, равновесие, термодинамика, биомасса, белки, углеводы, липиды, малондальдегид, пигменты, антиоксидантная активность.

Цель работы: целью работы является разработка эффективных технологий извлечения иттрия, празеодима, европия, гадолиния и эрбия из сточных вод, используя в качестве биосорбента и биоаккумулятора цианобактерию *Arthrospira platensis*. Для достижения цели были поставлены следующие задачи: определить оптимальные параметры сорбции иттрия, празеодима, европия, гадолиния и эрбия биомассой *Arthrospira platensis*; выявить особенности биоаккумуляции редкоземельных элементов биомассой *Arthrospira platensis*; оценить изменения биохимических параметров биомассы *Arthrospira platensis* в процессе биоаккумуляции РЗЭ; разработать технологические схемы биосорбции и биоаккумуляции редкоземельных элементов из растворов.

Научная новизна и оригинальность исследования: впервые цианобактерия *Arthrospira platensis* была применена для очистки сточных вод, содержащих редкоземельные элементы (иттрий, празеодим, европий, гадолиний, эрбий). Были определены параметры сорбции, позволяющие достичь максимальной эффективности извлечения редкоземельных элементов. Получены уникальные данные по влиянию изучаемых редкоземельных элементов на биохимический состав *Arthrospira platensis* в результате аккумуляции редкоземельных элементов

Результат, который способствует решению научной проблемы: получены принципиально новые данные по биосорбции и накоплению редкоземельных элементов биомассой *Arthrospira platensis*. Предложены новые технологии извлечения редкоземельных элементов из загрязненных вод.

Теоретическая значимость работы: определены оптимальные физико-химические параметры (рН, время, температура, концентрация элемента) извлечения редкоземельных элементов. Установлена природа биосорбционных процессов. Собраны сведения о влиянии редкоземельных элементов на жизнедеятельность *Arthrospira platensis* и ее биохимический состав.

Практическая значимость работы: разработанные подходы могут быть использованы для очистки и доочистки сточных вод промышленных предприятий, содержащих редкоземельные металлы в производственном цикле, а также извлечения металлов из концентратов редкоземельных элементов. На основе полученных данных могут быть разработаны новые технологии извлечения других металлов.

Внедрение полученных результатов: полученные результаты были использованы для разработки технологий извлечения редкоземельных элементов из промышленных сточных вод, используя *Arthrospira platensis* в качестве сорбента. Технологии были внедрены в ООО «Ангениум».

ADNOTARE

Iushin Nikita, Tehnologii de recuperare an elementelor de pământuri rare cu utilizarea cianobacteriei *Arthrospira platensis*. Teză de doctor în științe biologice, Chișinău, 2024.

Structura tezei: Adnotare (în rusă, română și engleză), introducere, cinci capitole, concluzii și recomandări, bibliografie din 272 surse, 21 figuri, 7 tabele și 112 pagini ale textului principal. Rezultatele expuse în teză sunt reflectate în 13 publicații științifice, inclusiv 7 articole în reviste din bazele de date WoS și Scopus.

Cuvinte-cheie: elemente de pământuri rare, ytriu, praseodim, europiu, gadoliniu, erbiu, *Arthrospira platensis*, spirulina, bioremediere, poluare; biosorbție, bioacumulare, cinetică, echilibru, termodinamică, biomasă, proteine, carbohidrați, lipide, malondialdehidă, pigmenți, activitate antioxidantă.

Scopul și obiectivele tezei: scopul lucrării constă în dezvoltarea tehnologiilor eficiente de îndepărtare a ytriului, praseodimului, europiului, gadoliniului și erbiului din apele uzate, utilizând cianobacteria *Arthrospira platensis* ca biosorbent și bioacumulator. Pentru atingerea scopului, au fost specificate următoarele obiective: determinarea parametrilor optimi pentru sorbția ytriului, praseodimului, europiului, gadoliniului și erbiului de către biomasa *Arthrospira platensis*; evidențierea particularităților bioacumulării elementelor pământurilor rare de către biomasa *Arthrospira platensis*; evaluarea modificării parametrilor biochimici ai biomasei *Arthrospira platensis* în procesul de bioacumulare a EPR; elaborarea unor scheme tehnologice pentru biosorbția și bioacumularea elementelor pământurilor rare din soluții.

Noutatea și originalitatea științifică: pentru prima dată, cianobacteria *Arthrospira platensis* a fost folosită pentru tratarea apelor reziduale care conțin elemente de pământuri rare (ytriu, praseodim, europiu, gadoliniu, erbiu). Au fost determinați parametrii sorbției, care permit îndepărtarea maximă a elementelor pământurilor rare. Au fost obținute date unice cu privire la influența elementelor pământurilor rare studiate asupra compoziției biochimice a *Arthrospira platensis* ca rezultat al bioacumulării pământurilor rare.

Rezultatul obținut care contribuie la soluționarea unei probleme științifice importante: au fost obținute date fundamentale noi despre biosorbția și acumularea elementelor pământurilor rare de către biomasa *Arthrospira platensis*. Au fost propuse tehnologii noi pentru îndepărtarea elementelor pământurilor rare din apele poluate.

Semnificația teoretică a tezei: au fost determinați parametrii fizico-chimici optimi (pH-ul, timpul, temperatura, concentrația elementului) pentru îndepărtarea elementelor de pământuri rare. A fost stabilită natura proceselor de biosorbție. A fost studiat impactul elementelor pământurilor rare asupra activității vitale a *Arthrospira platensis* și a compoziției ei biochimice.

Valoarea aplicativă a tezei: abordările dezvoltate pot fi utilizate pentru tratarea și post-tratarea apelor reziduale de la întreprinderile industriale care conțin metale de pământuri rare în ciclul de producție, precum și extracția metalelor din concentrate de elemente de pământuri rare. Pe baza datelor obținute pot fi dezvoltate tehnologii noi pentru extracția altor metale.

Implementarea rezultatelor științifice: rezultatele obținute au fost folosite pentru elaborarea tehnologiilor de îndepărtare a elementelor pământurilor rare din apele reziduale industriale folosind *Arthrospira platensis* ca sorbent. Tehnologiile au fost implementate de către compania „Anghenium”.

ANNOTATION

Iushin Nikita, Technologies for the extraction of rare earth elements using cyanobacteria *Arthrospira platensis*. PhD thesis in biological sciences, Chisinau, 2024

Structure of the thesis: Abstract (in Russian, Romanian and English), introduction, five chapters, conclusions and recommendations, bibliography from 272 sources, 21 figures, 7 tables and 112 pages of main text. The results of the dissertation are reflected in 13 scientific publications, including 7 articles in peer-reviewed Scopus and WoS journals.

Keywords: REEs, yttrium, praseodymium, europium, gadolinium, erbium, *Arthrospira platensis*, spirulina, bioremediation, pollution; biosorption, bioaccumulation, kinetics, equilibrium, thermodynamic, biomass, proteins, carbohydrates, lipids, malondialdehyde, pigments, antioxidant activity.

The aim and objectives of the thesis: the purpose of the thesis is to develop effective technologies for the extraction of yttrium, praseodymium, europium, gadolinium and erbium from wastewater, using the cyanobacterium *Arthrospira platensis* as a biosorbent and bioaccumulator. To achieve the goal, it is necessary to complete the following tasks: to determine the optimal parameters for the sorption of yttrium, praseodymium, europium, gadolinium and erbium by *Arthrospira platensis* biomass; to identify the features of rare earth elements bioaccumulation by *Arthrospira platensis* biomass; to evaluate changes in the biochemical parameters of *Arthrospira platensis* biomass during the process of REEs bioaccumulation; and to develop technological schemes for the biosorption and bioaccumulation of rare earth elements from solutions.

The novelty and scientific originality: for the first time, the cyanobacterium *Arthrospira platensis* was used to treat wastewater containing rare earth elements (yttrium, praseodymium, europium, gadolinium, erbium). Sorption parameters which allow maximum efficiency of rare earth elements removal were determined. Unique data on the influence of the studied rare earth elements on the biochemical composition of *Arthrospira platensis* as a result of the accumulation of rare earth elements were obtained.

A result that contributes to the solution of a scientific problem: fundamentally new data on the biosorption and accumulation of rare earth elements by *Arthrospira platensis* biomass were obtained. New technologies for recovery of rare earth elements from polluted waters have been proposed.

The theoretical importance of the work: the optimal physicochemical parameters (pH, time, temperature, element concentration) for the recovery of rare earth elements were determined. The nature of biosorption processes has been established. Information about the influence of rare earth elements on the life activity of *Arthrospira platensis* and its biochemical composition was obtained.

The applied value of the work: the developed approaches can be used for the treatment and post-treatment of wastewater from industrial enterprises containing rare earth metals in the production cycle, as well as the recovery of metals from concentrates of rare earth elements. Based on the data obtained, new technologies for the extraction of other metals can be developed.

The implementation of the results: the obtained results were used to develop technologies for extracting rare earth elements from industrial wastewater using *Arthrospira platensis* as a sorbent. The technology was implemented at Angenium LLC.

IUSHIN NIKITA

**TEHNOLOGII DE RECUPERARE A ELEMENTELOR DE PĂMÂNTURI
RARE CU UTILIZAREA CIANOBACTERIEI *ARTHROSPIRA PLATENSIS***

167.01 Biotehnologie, bionanotehnologie

Rezumatul tezei de doctor în științe biologice

Aprobat spre tipar: 05.09.2024

Formatul hârtiei

Hârtie ofset. Tipar ofset.

Tiraj: 25 ex.

Coli de tipar.: 1,0

Comanda nr. **11111**

Tipografia Artpoligraf SRL

str. Henri Coanda 7, MD 2004

office@artpoligraf.md