



Получена: 20.03.2019 г.

Приета: 29.07.2019 г.

## СРАВНЕНИЕ НА ДВЕ КУЛТУРИ МИКРОВОДОРАСЛИ ЗА ДОПРЕЧИСТВАНЕ НА ОТПАДЪЧНИ ВОДИ В ЛАБОРАТОРЕН ЦИКЛИЧЕН РЕАКТОР

Д. Вълчев<sup>1</sup>, И. Рибарова<sup>2</sup>, М. Стойнева<sup>3</sup>, Б. Узунов<sup>4</sup>

*Ключови думи:* алги, фосфор, *Vischeria*, *Desmodesmus*, пречистване на отпадъчни води

### РЕЗЮМЕ

Статията представя изследване, целящо избор на култура микроводорасли за отстраняване на фосфор от биологично пречистени отпадъчни води. Използвани са лабораторни реактори, работещи на принципа на реактори с циклично действие. Изследвани са два щам микроводорасли от два рода на различни еволюционни линии – *Vischeria* (от жълтокафявата линия – отдел Ochrophyta) и *Desmodesmus* (от зелената линия – отдел Chlorophyta). Използвана е реална отпадъчна вода след вторичен утаител от ПСОВ Кубратово. Сравнението на микроводораслите е направено по показатели: скорост на отстраняване на фосфор, рН и утаителни способности на културата. Резултатите показват, че водораслите от род *Vischeria* вероятно са по-добрият избор, тъй като те поддържат благоприятни стойности на рН, по-добри утаителни способности, макар и малко пониска скорост на отстраняване на фосфор в сравнение с водораслите от род *Desmodesmus*. Този начален етап на изследването показва, че е необходимо да бъдат проучени сезонната динамика, влиянието на интензивността на слънчевото греене, зависимостта на скоростта на отстраняване на фосфор от други елементи в системата и начини за недопускане на заразяване на чистата култура микроводорасли.

<sup>1</sup> Добрил Вълчев, инж. докторант, кат. „Водоснабдяване, канализация и пречистване на водите”, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: dobril.valchev@abv.bg

<sup>2</sup> Ирина Рибарова, проф. д-р инж., кат. „Водоснабдяване, канализация и пречистване на водите”, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: ribarova\_fhe@uacg.bg

<sup>3</sup> Майя Стойнева, проф. дбн, кат. „Ботаника”, СУ „Св. Климент Охридски“, бул. „Драган Цанков“ 8, 1164 жк Лозенец, София, e-mail: mstoyneva@abv.bg

<sup>4</sup> Благой Узунов, доц. д-р, кат. „Ботаника”, СУ „Св. Климент Охридски“, бул. „Драган Цанков“ 8, 1164 жк Лозенец, София, e-mail: blago\_uzunov@abv.bg

## 1. Въведение

Съществуващите широкоразпространени конвенционални технологии за отстраняване на фосфор от отпадъчни води са основно два вида: химични методи чрез утаяване с метални соли и биологични методи чрез отстраняване с активна утайка. Химичните методи са свързани с редица проблеми като: 1) Генериране на големи количества утайка с химичен характер, която е нежелан краен продукт и нейното третиране увеличава експлоатационните разходи; 2) Проблемно качество на пречистената вода при дневна и сезонна неравномерност на замърсителния товар на входа на станцията; 3) Високи разходи за набавяне, използване и съхранение на химически реагенти [15]. Биологичните методи са по-рядко приложими и в много от случаите неефективни, поради силната зависимост от други фактори, като например, наличие на лесно биоразградим субстрат. Недостатъците на конвенционалното отстраняване на фосфор биха могли да бъдат преодолени чрез технология с микроалги, при която отпадъчната вода се допречиства след стандартното биологично стъпало в пречиствателни станции за отпадъчни води (ПСОВ). Побистрата вода в този етап от пречистването, по-ниската концентрация на определени показатели и неотстраненото количество фосфор благоприятстват среда за развитие на микроводорасли. В резултат на фотосинтеза, осъществена от водораслите, се постига: 1) отстраняване на фосфор и азот; 2) обогатяване на водата с кислород; и 3) произвеждане на биологична утайка с висока калоричност, която би могла да бъде използвана за допълнителен източник на енергия с включването ѝ в съоръженията за стабилизиране [10, 20, 24].

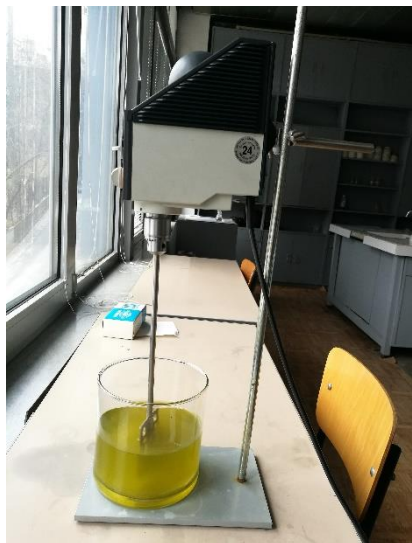
Технологията за култивиране на микроводорасли в големи количества се заражда преди около 60 години [16], като впоследствие се развива и като технология за съвместно пречистване на води и производство на водорасли [4, 11, 17]. Популярността в последните години е заради потенциала на микроводораслите за извличане на вещества, полезни в различни сектори (торове, производство на бои, фармацевтична индустрия, хранителни продукти и т.н.) [9], а също и като изходен продукт за производство на биодизел [12, 24].

Технологията се осъществява най-общо в два вида реактори – открити (High Rate Algal Ponds – HRAP; Raceway Ponds) и закрити (Photobioreactors). По-широко прилаганият вид реактор за пречистване на отпадъчни води е откритият тип, поради по-лесната експлоатация, по-ниските разходи и липсата на допълнителна система за вкарване на  $\text{CO}_2$  в системата. Направената литературна справка показва публикации единствено за лабораторни и пилотни изследвания [7, 22]. Липсата на приложение в реални условия вероятно се дължи на множеството фактори, от които зависи прилагането на тази технология – температура за извършване на процесите, заразяване на чистите култури с други вече съществуващи във водата култури и стабилизиране на процесите при смесената биомаса, необходима площ и достатъчно количество слънчева радиация, отделяне на микроводораслите от водата след процеса на пречистване и т.н. [8]. За да се осъществи трансферът на технологията от лабораториите в реални условия, са необходими още изследвания в посока: 1) търсене на други култури водорасли, по-устойчиви на факторите на средата и с по-добри утайтелни способности; 2) установяване на условията и параметрите на средата за конкретни отпадъчни води; 3) допълващи стъпала, предхождащи или последващи пречистването на отпадъчните води с алги.

В тази връзка, конкретната цел на настоящото изследване е да се проследят технологичните параметри и да се избере култура микроводорасли, която най-добре отговаря на очакванията.

## 2. Материали и методи

### 2.1. Лабораторна установка



Фиг. 1. Снимка на реактор от лабораторната установка

В експеримента са използвани лабораторни реактори – стъклени цилиндри с  $d = 150$  mm и  $h = 150$  mm, поставени върху подложка на метален статив, за който са захванати единични лопаткови бъркалки (фиг. 1).

Разположението на реакторите е в близост до северен прозорец, така че да бъдат създадени възможно най-близки до естествените условия за живот на микроалгите (разчита се главно на слънчевата радиация и се спазва дневно-нощния им цикъл на живот). Температурата в реакторите е поддържана в границите на стандартната стайна температура според сезона. Оборотите на бъркалките (размери на лопатката  $0,08$  m  $\times$   $0,05$  m) са установени на 46 грм, което отговаря на приблизително  $0,3$  m/s тангенциална скорост в периферията на съда.

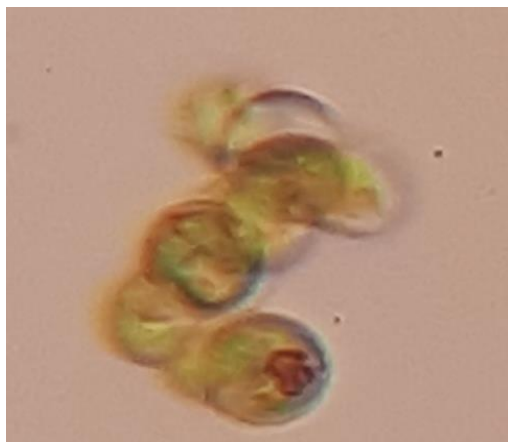
Функционирането на всеки от реакторите е на принципа на реактор с циклично действие (SBR).

Цикълът се състои от следните стъпки: 1) Взетата пречистена до определена степен отпадъчна вода в ПСОВ се смесва със съответния вид микроводорасли; 2) Суспензията се разбърква с предварително зададени обороти; 3) Към сместа се добавя съответното количество от разтвора на фосфати, за да се постигне стартова концентрация на общ фосфор в диапазона  $3 - 20$  mg/l (за да се симулира отпадъчна вода, непреминала през стъпало за отстраняване на фосфор); 4) Взема се начална проба, в момента на добавянето на фосфати; 5) Вземат се проби през съответния времеви диапазон до достигане на финална концентрация, отговаряща на нормативните изисквания; 6) След анализиране на всяка от взетите проби лопатковите миксери се спират; 7) Окрупнените микроводорасли се утаяват и пречистената вода се избистря; 8) Отдекантира се утаената вода над биомасата; 9) Добавя се нова отпадъчна вода с добавени фосфати към останалото количество микроводорасли и цикълът започва от начало.

### 2.2. Микроводорасли

Използвани са два щам (чисти култури) микроводорасли от два рода на две различни еволюционни линии. Те са предварително култивирани на агар с BBM среда, в Колекцията от живи водораслови култури (ACUS) на Биологическия Факултет на Софийския университет (СУ) „Св. Климент Охридски“ [2]. Пренасянето на културите между лабораториите е осъществено във флакони, уплътнени и изолирани от външната среда, за да се предотврати замърсяването на културите от въздуха.

Първият използван щам микроводорасли е от род *Vischeria* (фиг. 2), изолиран от Пирин и съхраняван като ACUS00025.



**Фиг. 2.** Снимка от светлинен микроскоп на щама ACUS 00025 от род *Vischeria*



**Фиг. 3.** Снимка от светлинен микроскоп на щама ACUS 00808 от род *Desmodesmus*

Водораслите от род *Vischeria* принадлежат към клас *Eustigmatophyceae* от отдел *Ochrophyta*. Те са едноклетъчни, устроени по кокален морфологичен тип (сферични, без флагелуми). Те са неколониялни, почвени обитатели с размери на клетката от 7 до 14  $\mu\text{m}$ . В направената до момента литературна справка не са намерени данни за прилагането на този конкретен вид микроалги за целите на пречистването на отпадъчни води.

Вторият използван шам микроводорасли е от род *Desmodesmus* (фиг. 3). Той принадлежи към Зелената еволюционна линия и е от клас *Chlorophyceae*, отдел *Chlorophyta*. Видовете от род *Desmodesmus* образуват ценобии, съставени от по 2, 4 или 8 клетки. Обитават сладки води и някои почви. Използваният шам е изолиран от района на с. Трудовец и е съхраняван като ACUS00808. В литературните данни са намерени случаи на използването на *Desmodesmus* и други видове от семейство *Scenedesmaceae* за пречистване на отпадъчни води.

### **2.3. Отпадъчна вода**

В експеримента е използвана реална отпадъчна вода от софийската пречиствателна станция за отпадъчни води (СПСОВ) – Кубратово, която е с капацитет 1,3 млн. еквивалент жители (ЕЖ). Технологичната схема по пътя на водата в станцията е съставена от: входна шахта, груби решетки, аерирани пясъкозадържатели, първични радиални утайтели, биобасейн с предварителна денитрификация, вторични радиални утайтели и изходен канал. На станцията е предвидено биологично отстраняване на фосфор (използва се рядко в летните месеци) и химично отстраняване на фосфор чрез добавяне на  $\text{FeCl}_3$  в биобасейна и съвместно утаяване на химичната и биологичната утайка във вторичния утайтел. Вземането на използваната отпадъчна вода е извършено от изходния канал преди заустването във водоприемника – река Искър. Изходните концентрации по всеки от показателите са получени от наличната на станцията SCADA система. Изземането на водата е реализирано посредством гребка с обем 1 L, захваната за телескопична дръжка. Пренасянето на водата от ПСОВ до лабораторията на Университета по архитектура, строителство и геодезия (УАСГ) е осъществено чрез 10 L пластмасови туби, предварително промити няколко пъти с пробната вода. Вземането на всяка порция нова вода е из-

вършвано средно веднъж седмично, а съхранението на останалата вода между смените в реакторите е осъществено в хладилник при температура 4 °C, за да се предотврати промяната в качествения състав по изследваните показатели.

## **2.4. Химични анализи**

За повишаване на концентрацията на основния изследван елемент в системата – фосфор – и за контролиране на концентрацията на азот, са подготвени 2 стандартни разтвора на фосфати и нитрати. За целта са използвани реагентите  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  и  $\text{NaNO}_3$  и съответното количество дестилирана вода. Всеки от разтворите е подготвен с концентрация 1000 mg/l, измерена съответно като общ фосфор или общ азот.

За определянето на показателя неразтворени вещества (НВ) е използван стандартен метод със стъклоvlakности филтри с големина на порите 1,5  $\mu\text{m}$  (по-малки от размерите на клетките и на двата вида микроалгии).

За определянето на Общ фосфор, Общ азот и химическа потребност от кислород (ХПК) е използван фотометричен метод чрез кюветни тестове на фирмата Hach Lange. За обработката на пробите и отчитане на резултатите са използвани термостат LT200 и спектрофотометър DR2800 (Hach Lange).

## **2.5. Етапи на експеримента**

Експериментът е проведен в два етапа: 1) Етап на адаптиране на културите към цикъла и отпадъчната вода; 2) Етап на същинско пречистване.

### ***Етап на адаптиране: Месеци Май-Юни***

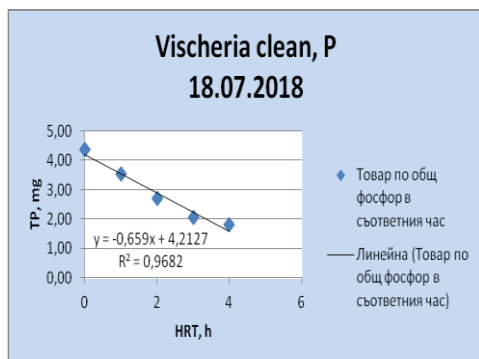
В този етап лабораторната установка е съставена от 3 действащи реактора, всеки от които с обем 800 ml: 1) С чиста култура от вида *Vischeria* – реактор “*Vischeria clean*”; 2) Със смесени култури, но с доминиране отново на вида *Vischeria* – реактор “*Vischeria contaminated*”; 3) С култура от вида *Desmodesmus* – реактор “*Desmodesmus 1*”.

### ***Етап на същинско пречистване: Месеци Юли-Август***

През този етап, поради твърде бързото нарастване на биомасата от микроводорасли в реактора с културата от водорасли *Desmodesmus*, а също и от съображението да има по-голяма повторямост на резултатите и по-пълен набор от данни, е осъществено разделянето на съдържанието на реактор “*Desmodesmus 1*” в 3 равни по обем и близки по стартова концентрация на биомасата реактори, отново всеки с обем 800 ml. В този период вземането на проби е извършено от 5 реактора, съответно: 1) С чиста култура от вида *Vischeria* – реактор “*Vischeria clean*”; 2) Със смесени култури, но с доминиране отново на вида *Vischeria* – реактор “*Vischeria contaminated*”; 3) Три реактора с доминираща култура от вида *Desmodesmus* – реактори “*Desmodesmus 1*”, “*Desmodesmus 2*”, “*Desmodesmus 3*”.

## **2.6. Обработване на резултатите**

Данните от химичните анализи са обработени в Excel.



**Фиг. 4. Илюстрация на определяне на скоростта на отстраняване на фосфор**

Скоростта на отстраняване на фосфор е определена от наклона на правата линия, получена от осредняване на измерените товари по фосфор (по ординатата) и времепрестоя в реактора (абсцисата). Достоверността на зависимостта между двата параметъра е представена чрез стойността на средното квадратично отклонение (коефициент на корелация).

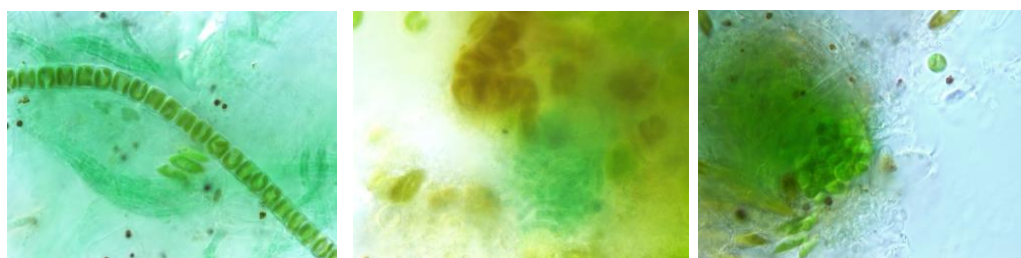
При анализа е направена съпоставка, както между отделните реактори с изследваните видове микроводорасли по всички показатели и условия на средата, така и между отделните периоди на денонощието и сезона на пробовземането.

### 3. Резултати и дискусия

#### 3.1. Еволюция на биомасата

Пробите, взети в началото на експеримента (месеци май-юни) са с изключително непостоянни и неравномерни резултати. Екипът отдава това на адаптацията и нарастването на биомасата.

При продължаване на експеримента с течение на времето и извършването на наблюдения на биомасата от реакторите под светлинен микроскоп е установено, че независимо от изолираните от пряката външна среда лабораторни условия на протичане на експеримента, културите от микроводорасли постепенно са претърпели „замърсяване“ с други естествено развиващи се в отпадъчната вода микроводорасли. Наблюдаваните „замърсяващи видове“ са предимно Кремъчни, Синьозелени и Зелени планктонни микроводорасли, обитавачи места с постоянно течаща вода.



**Фиг. 5. Снимки от светлинен микроскоп на водорасли, намерени във всички реактори**

Постоянното и постепенно нарастване на „външните“ видове водорасли е причинено от загребването на отпадъчна вода в близост до стената на открития изходен канал на СПСОВ – Кубратово, повишената температура и по-силна слънчева радиация през лятото, а също и от постоянната смяна на отпадъчната вода в реакторите (почти винаги 2 пъти дневно, включително и събота и неделя). Тези „външни“ за реакторите микроводорасли не отделят токсични вещества и не замърсяват отпадъчната вода допълнително. Но тяхното присъствие се оказва нежелано, тъй като влошават условията в самите реак-

тори поради обрастване на прозрачните стени (отделят слиз и се прикрепят към стъклото) на реакторите.

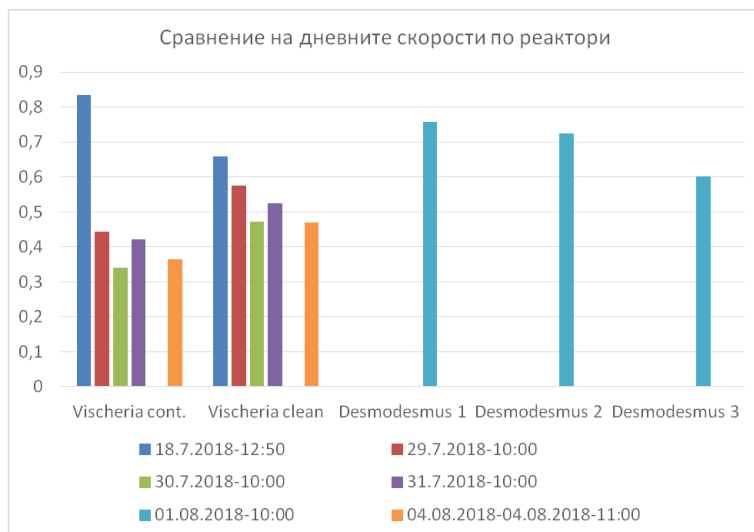
„Замърсяването“ на чистите култури от микроводорасли е често срещано явление при открития тип реактори. Множество изследвания от различни автори свидетелстват за образуването на смесена биомаса не само от различни видове водорасли, но и от разнообразни видове микроорганизми дори и при поставянето на чиста култура от микроалги в реактора в началото на експеримента. Нежеланото наличие на други микроорганизми в системата, които виреят при подобни условия като първоначалната култура от микроводорасли, предизвиква намаляване на ефекта на пречистване, снижение в нарастването на биомасата и затруднение в проследяването на експериментите и експлоатацията на реакторите. Видовете микроорганизми, за които има данни, че „замърсяват“ най-често реакторите са: зоопланктон (ротиферии, водни бълхи и др.); бактерии (фитопланктон-лизисни); други микроводорасли (*Chlorella* sp., *Scenedesmus* sp., *Spirulina* sp. и др.); вируси. Най-разпространените методи за справянето с този проблем при откритите реактори са свързани с контролирането на определени параметри на системата (рН, концентрация на разтворен кислород и др.) и избор на водорасли, с които да поддържат изключително специфични условия в реактора, подходящи за оцеляването на единствена култура микроалги [13, 23].

### 3.2. Скорост на отстраняване на фосфора

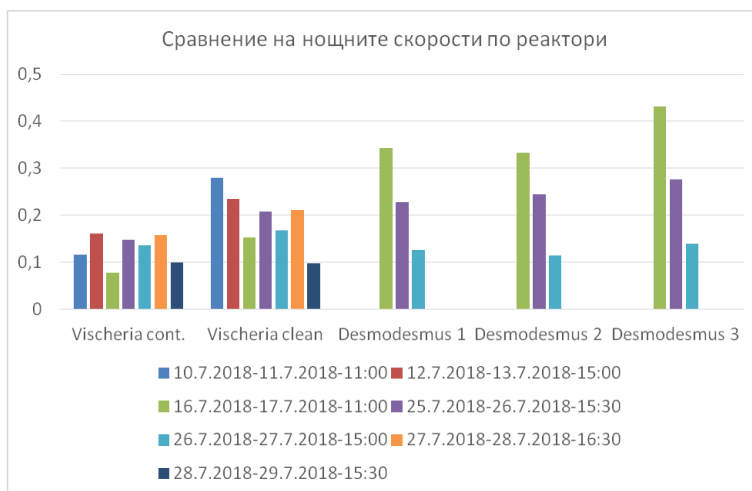
Както беше споменато по-горе, през периода на адаптация скоростите на отстраняване на фосфора бяха непостоянни, поради което не са включени в определянето на средните скорости за отстраняване на фосфор.

При проследяване на поведението на системите бе установено, че в рамките на едно денонощие скоростите варират значително, поради „светлинна-тъмнинна“ фаза на фотосинтезата. Поради това са определени две скорости на отстраняване на фосфора – дневна и нощна, в рамките на един цикъл на реактора (едно зареждане с отпадъчна вода).

Получените резултати са показани на фиг. 6 и фиг. 7.



Фиг. 6. Графика, изобразяваща дневните скорости на отстраняване на фосфора [mg/h] по дати и реактори



**Фиг. 7. Графика, изобразяваща нощните скорости на отстраняване на фосфора [mg/h] по дати и реактори**

Тенденциите във всички реактори са:

- 1) Скоростта на отстраняване на фосфор от водата намалява с течение на времето;
- 2) Концентрацията на НВ се увеличава след всяка смяна на отпадъчната вода.

При тези тенденции може да се направи изводът, че скоростта за единица биомаса пада, т.е. скоростта на усвояване на фосфор от микроводораслите е по-висока при чиста култура и намалява с преминаването и нарастването на други водорасли от различни видове в системата.

Възможна причина за това нежелано намаляване на скоростите е обрастването на стените на реакторите с „външни“ микроводорасли, с което се намалява достъпът на светлина от периферията към центъра на реактора.

Получените средни скорости на отстраняване на фосфора са дадени в таблицата по-долу:

Култура	Дневна скорост	Нощна скорост
	mg/h	mg/h
<i>Visheria clean</i>	0,54	0,19
<i>Visheria contaminated</i>	0,48	0,13
<i>Desmodesmus</i>	0,69	0,25

Резултатите показват:

1) *Desmodesmus* осигурява малко по-високи скорости на отстраняване на фосфор както през дневните, така и през денонощните измервания в сравнение с реакторите с културата *Vischeria*.

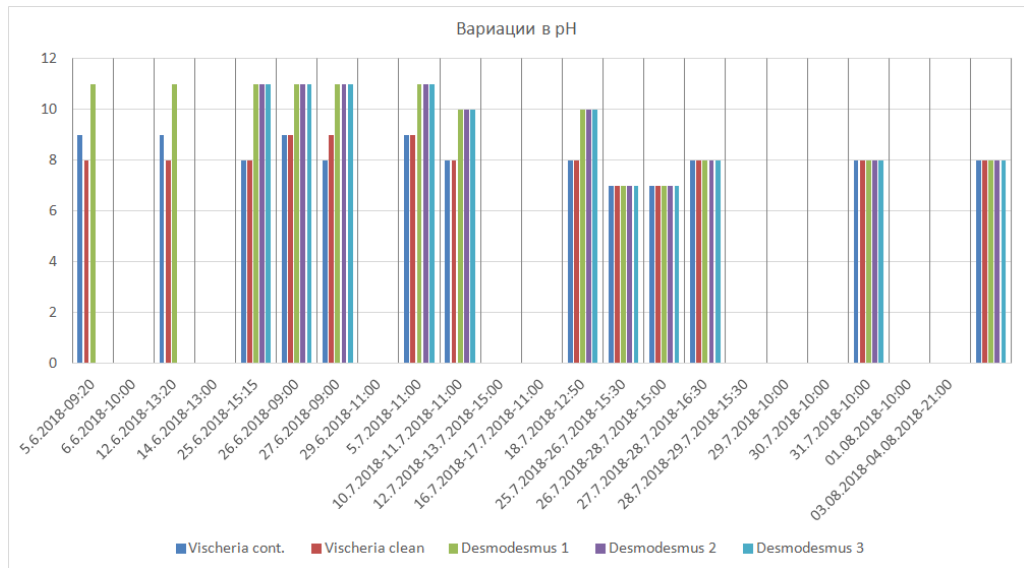
2) *Vischeria clean* осигурява по-високи скорости на отстраняване на фосфор както през дневните, така и през денонощните измервания в сравнение с реакторите с културата *Vischeria contaminated*.

Данните от направената литературна справка показват, че денонощните скорости на отстраняване на фосфор варират в диапазона 0,005 – 0,74 mg/h, т.е. средно около 0,21 mg/h. Този широк диапазон на вариация се дължи на различните условия в реакто-

рите и средата около тях, които използват отделните автори – използване на различни видове микроводорасли от различни еволюционни линии и консорциуми с други видове микроорганизми; използване на суспендирана или прикрепена биомаса; зареждане на реакторите с различни видове отпадъчни води, включително и специално направени моделни такива; използване на изкуствено осветяване и контролиране на неговата продължителност и интензивност; наличие или липса на допълнително аериране с  $\text{CO}_2$  с различна интензивност; използване на различен обем и геометрия на реакторите; добавяне на различни реагенти към суспензията за контрол на определени параметри (рН, концентрация на  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  и т.н.); провеждане на изследванията в различни държави при специфичен за географската ширина климат [5, 6, 14, 18, 19].

### 3.3. Реакция на средата рН

Друг важен показател за приложимостта на технологията е реакцията на средата, която не трябва да надвишава нормативно допустимия за заустване във водоприемник диапазон на стойностите  $\text{pH} = 6 - 9$  [1]. Получените резултати за рН при проведените експерименти са дадени на фиг. 8.



Фиг. 8. Графика, изобразяваща вариациите в стойностите за рН по дати

Резултатите показват:

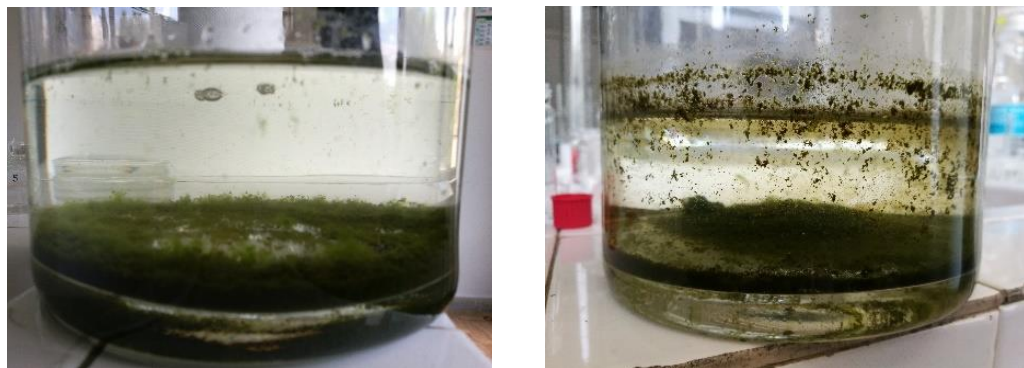
- 1) В реакторите с микроводорасли от вида *Vischeria* се поддържа по-близко до неутралното рН;
- 2) Поддържаното рН в реакторите с микроводорасли *Desmodesmus* е значително по-високо, съответно по-алкално при чиста култура, но с развитието на други водорасли рН на системата пада и се изравнява с това в реакторите с *Vischeria*.

Тези наблюдения водят до извод, че при осигуряване на технология, при която да се поддържа чиста култура (например с предварително стъпало за обеззаразяване с UV лъчи или филтриране през пясъчен филтър), културата от микроводорасли от вида *Vischeria* би поддържала по-добри условия на средата от вида *Desmodesmus*, от гледна точка на рН в системата.

### 3.4. Утаителни способности на биомасата

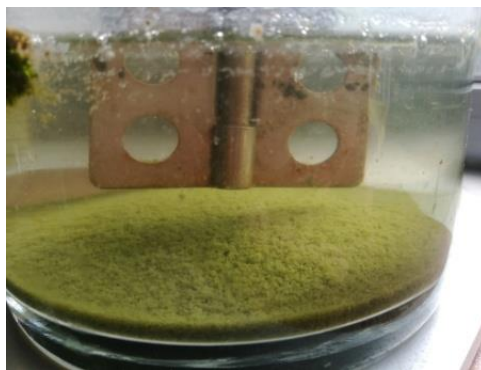
Отделянето на микроводораслите от пречистената вода е един от основните проблеми за внедряване на технологията. Най-използваните методи за отделяне на биомасата от пречистената вече отпадъчна вода включват – филтрация (вакуумна или напорна през мембрани за микро-, ултрафилтрация или обратна осмоза – в зависимост от размерите на клетките); центрофугиране; електрофореза; флотация с добавяне на въздух; коагулация чрез органични и неорганични коагуланти и флокуланти; авто- и биофлокулация с утаяване. Като най-ефективни и широкоприложими в по-голям мащаб са филтрациите, центрофугирането и коагулационните методи, но те все още се явяват икономически неизгодни поради нуждата от капиталовложения за закупуване на машини и оборудване, усложняване на експлоатацията и нуждата от допълнителни реагенти [3]. Свободното утаяване или утаяването след автофлокулация е твърде зависимо от стойностите на рН в реактора (за ефективно отделяне от водата са необходими стойности на рН около 10), слънчевото греење и концентрацията на калциеви и магнезиеви йони във водата [3, 21]. В тази връзка, една от целите на настоящото изследване е проследяване на утаителните способности на двете култури.

При всички реактори с микроводорасли от вида *Vischeria* се наблюдава значително окупняване на биомасата. Във водата, дори в суспендирано състояние, се наблюдава постепенното образуване на флокули при стойности на рН, по-близки до неутралните (рН = 8 – 8,5). След разглеждане на културата под светлинен микроскоп в БФ към СУ „Св. Климент Охридски“ се забеляза, че микроводораслите от вида *Vischeria* са много и малки по размери, слепени заедно – ефект, който се наблюдава при евтрофикация. С течение на времето тези флокули ставаха все по-ясно изразени. След спиране на лопатковите миксери биомасата се утаява изключително бързо и ефективно при чиста култура от *Vischeria* (концентрации на НВ в деканта от порядъка на 7 – 25 mg/L). При постоянната смяна на водата и постепенното преминаване към реактор със смесени култури от микроалги се получи постепенно влошаване на утаителните способности на микроводораслите и съответно понижено качество на утаената вода по показателя НВ.



Фиг. 9. Снимки на реактори след утаяване 1 час с културата *Vischeria* (ляво – чиста култура; дясно – след нарастване на други водорасли в реактора)

При реакторите, съдържащи *Desmodesmus*, се наблюдава обратната зависимост. При наличие на чиста култура в реактора не се забелязва окупняване на микроводораслите и образуване на флокули. Микроводораслите остават почти изцяло в суспендирано състояние и не могат да бъдат отделени от водата чрез утаяване.



**Фиг. 10.** Снимки на реактори след утаяване 1 час с културата *Desmodesmus* (ляво – чиста култура; дясно – след нарастване на други водорасли в реактора)

Стойностите на НВ в деканта след утаяване около 1 час надвишават 100 mg/L при чиста култура. С преминаване на културата към смес от микроводорасли се получава постепенно подобряване на утайтелните качества на системата и при последните измервания, концентрацията на НВ варира в диапазона 20 – 28 mg/L.

#### 4. Изводи

В статията е представен начален етап на изследване, целящо установяване на водораслово-базирана технология за допречистване на отпадъчни води, при която скоростта на отстраняване на фосфор ще е достатъчно висока, за да не изисква много площ и при която отделянето на биомасата от пречистената отпадъчна вода няма да е свързано с прекомерни разходи. Този етап на изследването е показателен, че необходимо и задължително условие за постигане на целта е недопускане на заразяване на чистата култура с микроводораслите, които естествено се развиват в отпадъчните води на изход ПСОВ. Следващият етап на изследване ще включи стъпало за предварително отстраняване на нежеланите микроводорасли чрез филтриране в пясъчен филтър или UV обеззаразяване между вторичния утайтел и реактора с микроводорасли. Поради по-добрите утайтелни способности и по-доброто рН на *Vischeria*, тя е избрана за следващия етап експерименти. При нея скоростта на отстраняване на фосфор е малко по-ниска, в сравнение с *Desmodesmus*, но другите два показателя са несравнимо по-добри.

Независимо от получените резултати (скорост на отстраняване на фосфор от различни култури с различна отпадъчна вода, установени утайтелни способности), изследванията все още са недостатъчни за прехвърлянето на технологията в пилотни условия. Необходим е допълнителен анализ, свързан със сезонната неравномерност, влиянието на интензивността на слънчевото греене и зависимостта на скоростта на отстраняване на фосфор от други елементи в системата.

#### Благодарности

Изказваме нашите благодарности на ЦНИП при УАСГ за финансирането на изследването (договор Д-105/2018), на проект BG05M2OP001-1.002-0019: „Чисти технологии за устойчива околна среда – води, отпадъци, енергия за кръгова икономика“ за осъществяване на сътрудничество с БФ на СУ „Св. Климент Охридски“, както и на екипите

на ПСОВ-Кубратово и ПСОВ-Дупница за тяхното безвъзмездно съдействие при осъществяване на настоящото проучване. Екипът благодари сърдечно на хим. Светлана Лазарова от УАСГ за помощта при провеждането на химичните анализи.

## ЛИТЕРАТУРА

1. НАРЕДБА № 6 от 9.11.2000 г.
2. *Узунов, Б., Стойнева, М., Манчева, А., Gaertner, G.* (2012), ACUS – новата колекция от живи аеротерестриални водорасли на Софийския университет “Св. Климент Охридски”. – В: Петрова, А. (ред), VII Национална конференция по ботаника, София, 29-30 септември 2011, ББД, ISBN 978-954-93808-2-1, 271-274.
3. *Al hattab, M., Ghaly1, A., Hammouda, A.* (2015), Microalgae Harvesting Methods for Industrial Production of Biodiesel: Critical Review and Comparative Analysis. *Journal of Fundamentals of Renewable Energy and Applications*, pp 1-26.
4. *Craggs, R. J.* (2005), Advanced integrated wastewater ponds. In: Shilton A (ed) Pond treatment technology. IWA scientific and technical report series. IWA, London, pp 282–310.
5. *Cuellar-Bermudez, S., Aleman-Nava, G., Chandra, R.* (2016), Nutrients utilization and contaminants removal. A review of two approaches of algae and cyanobacteria in wastewater. *Algal Research*.
6. *Delgadillo-Mirqueza, L., Lopesc, F., Taidic, B.* (2016), Nitrogen and phosphate removal from wastewater with a mixed microalgae and bacteria culture. *Biotechnology Reports* 11, 18–26.
7. *Favior, L., Liao, W., Kirk, D.* (2013), Anaerobic digestion and algal raceway system. *BioCycle Energy* (2013) 29-31.
8. *Gonçalves, A., Pires, J., Simões, M.* (2016), A review on the use of microalgal consortia for wastewater treatment. *Algal Research*.
9. *Guldhe, A., Kumari, S., Ramanna, L.* (2017), Prospects, recent advancements and challenges of different wastewater streams for microalgal cultivation. *Journal of Environmental Management* 203 299-315.
10. *Lowrey, J.* (2011), Seawater, wastewater production of microalgae based biofuels in closed loop tubular photobioreactors, Thesis, California Polytechnic State University.
11. *Lu, Q., Zhou, W., Min, M.* (2015), Mitigating ammonia nitrogen deficiency in dairy wastewaters for algae cultivation. *Bioresource Technology* 201 (2016) 33–40.
12. *Maity, J. P., Hou, C., Majumder, D.* (2014), The production of biofuel and bioelectricity associated with wastewater treatment by green algae. *Energy* (2014) 1-10.
13. *Mallick1, N., Bagchi1, S., Koley1, S., Singh, A.* (2016), Progress and Challenges in Microalgal Biodiesel Production. *Frontiers in Microbiology* 7:1019.
14. *Mathew, J.* (2017), Phosphorus removal using an algae bacterial consortium in photo sequencing batch reactor (PSBR). Master thesis at Asian Institute of Technology, School of Environment Resource and Development, Thailand.
15. *Oilgae Guide to Algae-based Wastewater Treatment A Sample Report*, (2009).
16. *Oswald, W. J., Golueke, C. G.* (1960), Biological transformation of solar energy. *Adv Appl Microbiol* 2:223–262.

17. Oswald, W. J. (1988), Micro-algae and waste-water treatment. In: Borowitzka MA, Borowitzka LJ (eds) Micro-algal Biotechnology. Cambridge University Press, Cambridge, pp 305–328.
18. Patel, A., Barrington, S., Lefsrud, M. (2012), Microalgae for phosphorus removal and biomass production: a six species screen for dual-purpose organisms. *Bioenergy* 4, 485–49
19. Su, Y., Mennerich, A., Urban, B. (2016), The long-term effects of wall attached microalgal biofilm on algae-based wastewater treatment. *Bioresource Technology* 218, 1249–1252.
20. Trent, J. (2012), Offshore membrane enclosures for growing algae (OMEGA): A Feasibility study for wastewater to biofuels, NASA Ames Research Center.
21. Vandamme, D., Foubert, I., Fraeye, I. (2012), Flocculation of *Chlorella vulgaris* induced by high pH: Role of magnesium and calcium and practical implications. *Bioresource Technology* 105, 114–119.
22. Vree1, J., Bosmal, R., Janssen1, M. (2015), Comparison of four outdoor pilot-scale photobioreactors. *Biotechnol Biofuels*, 8:215.
23. Wang, H., Zhang, W., Chen, L., Wang, J., Liu, T. (2013), The contamination and control of biological pollutants in mass cultivation of microalgae. *Bioresource Technology* 128 745–750.
24. Zhu, L., Wang, Z., Shu, Q., Takala, J., Hiltunen, E., Feng, P., et al. Nutrient removal and biodiesel production by integration of freshwater algae cultivation with piggery wastewater treatment. *Water Research*, 2013; 47(13): 4294–4302.

## **COMPARISON OF TWO STRAINS OF MICROALGAE USED FOR WASTEWATER POST-TREATMENT IN A LABORATORY SCALE SBR**

**D. Valchev<sup>1</sup>, I. Ribarova<sup>2</sup>, M. Stoyneva<sup>3</sup>, B. Uzunov<sup>4</sup>**

*Keywords: algae, phosphorus, Vischeria, Desmodesmus, wastewater treatment*

### **ABSTRACT**

The paper presents a research aiming at selection of the most appropriate strain of microalgae for phosphorus removal from a biologically treated wastewater. The laboratory

---

<sup>1</sup> Dobril Valchev, Eng., PhD student, Dept. “Water Supply, Sewerage, Water and Wastewater Treatment”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: dobri1.valchev@abv.bg

<sup>2</sup> Irina Ribarova Prof. PhD Eng., Dept. “Water Supply, Sewerage, Water and Wastewater Treatment”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: ribarova\_fhe@uacg.bg

<sup>3</sup> Maya Stoyneva, Prof. D.Sc. Biology, Dept. “Botany”, SU “St. Kliment Ohridski”, 1164 Sofia, 8 Dragan Tsankov Blvd., e-mail: mstoyneva@abv.bg

<sup>4</sup> Blagoy Uzunov, Assoc. Prof. PhD, Dept. “Botany”, SU “St. Kliment Ohridski”, 1164 Sofia, 8 Dragan Tsankov Blvd., e-mail: blagoy\_uzunov@abv.bg

reactors used for the experiment are run as sequencing batch reactors (SBR). Two separate strains of microalgae from two genera of different evolutionary lines are studied – *Vischeria* (brown algae – Ochrophyta division) and *Desmodesmus* (green algae – Chlorophyta division). Real treated wastewater, taken after the secondary clarifier from WWTP – Kubratovo is used. The two strains were assessed based on the following parameters – phosphorus removal rate, most appropriate pH levels maintained in the system, settling characteristics of the algal culture. The experimental results show that the algae from the genus *Vischeria* is probably the better choice, because it provides more favorable pH levels in the effluent and has better settling properties, despite a bit lower phosphorus removal rate compared to the green algae from the genus *Desmodesmus*. This initial stage of the research shows that the seasonal irregularity, the effect of the solar radiation intensity, the dependence of the phosphorus removal rate on other elements in the system and the methods for clean culture control from contamination, need to be further studied.