

Микроводорасли от екстремни местообитания

Иван Илиев

Екстремни местообитания и организмите в тях. Все още няма официално прието определение на „екстремно местообитание“, но най-общо така се наричат географските области, при които съвкупност

от фактори на околната среда потиска растежа и развитието на голям брой организми от различни таксономични рангове.

Факторите, определящи екстремните местообитания, могат да бъдат разнообразни по характер: висока/ниска температура, висока/ниска светлинна интензивност, различна солева концентрация, йонизиращи лъчения, антропогенна намеса (тежки метали и други

Планетата Земя представлява една изключително динамична система, където всяка секунда се осъществяват неизмерим брой физикохимични и биологични процеси, чиято периодичност води до различни изменения в биосферните, хидросферни и литосферни компоненти. В резултат на тези промени непрекъснато се реорганизируют съществуващите местообитания, което води и до промяна във видовото разнообразие на всеки район.

отпадъчни продукти, получени в резултат на човешката дейност), инвазивни биологични видове (бактерии, вируси). Тези фактори обикновено не въздействат самостоятелно, а в съвкупност, като в зависимост от

преобладаващите условия на средата могат да се наблюдават следните екологични групи от т. нар. екстремофилни организми: термофили, психрофили, ацидофили, алкалофили и халофили, всичките наричани с общото наименование екстремофили.

Терминът екстремофил, в смисъла на организъм, живеещ сред екстремни условия, за първи път е публикуван в научен труд през 80-те години на миналия век.



Гл. ас. д-р Иван Илиев е ръководител на Лаборатория „Експериментална алгология“ към ИФРГ-БАН. Той изучава екофизиологичните и биохимични особености на микроводорасли от екстремни местообитания. Специалист е по биотехнологии и е участвал в проектирането на предприятия за промишлено отглеждане на микроводорасли в България

Според съвременните възгледи тези организми живеят при извънредни обстоятелства и силно забавят или дори преустановяват жизнените си функции, когато „неблагоприятните“ за тях условия на средата бъдат променени.

Освен екстремофилни обаче, в екстремните местообитания се срещат и т. нар. екстремотолерантни организми. Те растат при сравнително по-нормални условия на средата, но понасят и крайно неблагоприятните такива, при които обаче растежът им се ограничава. Въпреки че са откривани сред екстремни местообитания, това не са типични екстремофили, а организми с по-широк спектър на поносимост към определени фактори на средата.

Да разгледаме по-подробно микроводораслите и тяхната роля в екстремните местообитания. Голяма част от растителните видове, обитаващи екстремни местообитания, принадлежат към невидимите с просто око организми, които набавят нужната за собственото си развитие енергия чрез усвояване на светлината, с помощта на сложно устроени пигмент-белтъчни структури. Тези микроорганизми са познати под общото наименование микроводорасли (фитопланктон). Те са повсеместно разпространени и съставляват повече от половината първични производители в хранителните вериги на всяка екосистема, от солените или сладководни водоеми, през пустинните пясъци, до повърхността на вечно обвитите в лед земи на Антарктика.

Промените в условията на средата пряко въздействат върху отделните видове, оказвайки влияние върху техния метаболизъм, като всеки отделен организъм се характеризира с определен фенотип, изявен в рамките на собствената му генетична програма, под въздействието на факторите на средата. Микроводорасловите физиологични особености предполагат сериозни механизми на приспособяване, които обезпечават оцеляването на тези организми сред множество екстремни местообитания. Немалка част от представителите на фитопланктона притежават способността да преживяват крайно неблагоприятни условия, като някои от тях дори изискват такива условия, за да се развиват.

Различните региони с тежки условия на средата предопределят и наличието на различни микроводораслови видове. В следващите редове ще бъдат най-общо разгледани основните екстремни местообитания, микроводораслите в тях, както и някои от най-често използва-



Микроводораслови колонии върху снежна повърхност

(Снимка: Jakub Dobias; Източник: Linda Nedbalova, Lenka Procházkova. 2019 <https://vesmir.cz/cz/casopis/archiv-casopisu/2019/cislo-1/nedopsany-pribeh-cerveneho-snehu.html>)

ните от тях физиологични механизми за преодоляване на тежките условия на средата.

Най-често срещаните екстремни местообитания на тази планета са районите, където средната годишна температура е близка до тази на замръзване на водата. Според обобщени данни от научната литература, тези екосистеми представляват около 70% от Земята, като в техните територии влизат: световният океан, високите алпийски райони, полярните шапки, ледниците, където предимно ниските температури играят роля на ограничаващ растежа и развитието фактор. Както беше споменато обаче, в екстремните местообитания почти винаги действат по няколко фактора едновременно, като в

случая се наблюдават и висока светлинна интензивност (засилена от отражателните свойства на снега), оскъдни концентрации на соли, силно UV-лъчение. В тези местообитания се срещат както психрофилни, така и психротолерантни микроводорасли, като тези от първия тип растат в температурния диапазон 0°C – 10°C, а вторите – при температура от 10 до 15°C.

Много автори наричат микроводораслите, които се срещат сред местообитания, покрити с лед и с температури близки до точката на замръзване – криосестон, название въведено от унгарската ботаничка Ержбет Кол (Erzset Kol) през 1968 година. Характерно за криосестонните сообщества е оранжево-червеното или зелено оцветяване върху

снежната повърхност, дължащо се на естествения червено-оранжев цвят, поради засиления синтез на помощни пигменти, в резултат на светлинния стрес.

Микроводораслите от снежните екстремни местообитания реагират към ниските температури чрез увеличаване ненаситеността на мастните киселини, изграждащи техните клетъчни мембрани. Тъй като температурата на топене на монокарбоновите мастни киселини нараства с повишаване броя на въглеродните атоми (като при равен брой въглеродни атоми ненаситените мастни киселини имат по-ниска температура на топене), се наблюдава значително увеличаване в общото съдържание на полиненаситени мастни киселини в биомасата на микроводорасли, изложени на ниски температури.

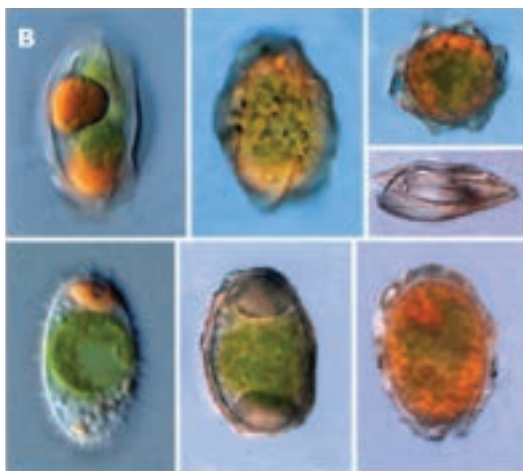
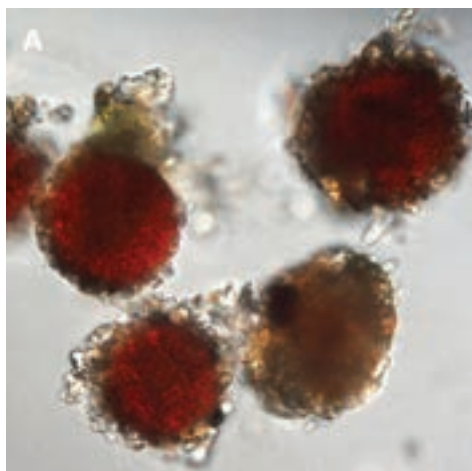
Едни от най-често срещаните микроводораслови родове в тези местообитания са *Chlamydomonas*, *Chloromonas*,

Chlainomonas, *Cylindrocystis*, *Choricystis*, *Ko-liella*, *Stichococcus*, *Prasiola*, *Hormidiospora*, *Xanthonema*.

България е страна с изключително разнообразие от снежни местообитания и микроводорасли сред тях. Микроклиматичните особености на българските планини, предопределят наличието на покрити със сняг области, където голям брой микроводораслови сообщества живеят върху снежната повърхност от късна есен до ранна пролет.

Други често срещани екстремни местообитания са горещите извори. Тук се развиват предимно термофилните синьо-зелени микроводорасли, които могат да растат при температури, достигащи стойности от порядъка на 80°C.

Синьо-зелените микроводорасли са специфичен тип прокариотни организми (със сравнително по-проста организация на клетъчните структури). Названието им идва от цвета на техните колонии,



Микроскопски снимки на микроводорасли, изолирани от снежната повърхност на планини в България:

А – *Chlamydomonas nivalis* от Родопи (Снимка/източник: <https://www.butbn.cas.cz/applied-phycology/>);

В – микроводорасли от Витоша (Снимка/източник: Lukavsky J, Furnadzhieva S, Nedbalova L. 2009. First record of cryoseston in the Vitosha Mountains (Bulgaria). *Nova Hedwigia* 88 (1-2): 97 – 109)



A – термален извор в местността Панчарево, София (Снимка: И. Илиев, ИФРГ-БАН);
B – микроскопска снимка на микроводораслото *Mastigocladus laminosus*, изолирано от термален извор в местността Панчарево, София (Снимка: J. Lukavsky – IBot-CAZ; Източник: Lukavsky J, Furnadzhieva S, Pilarski P. 2011. Cyanobacteria of the thermal spring at Pancharevo, Sofia, Bulgaria. *Acta Botanica Croatica* 70(2):191-208)

гължащ се на белтъчно-пигментни образувания, наречени фикобилипротеини, служещи като помощни структури при улавяне на светлината.

Основната екологична група микроводорасли, които се развиват в подобен тип местообитания са термофилните и термотолерантни микроводорасли, които функционират в температурния диапазон 45 – 70°C. Едни от най-често срещаните тук синьо-зелени микроводорасли принадлежат към родовете *Mastigocladus*, *Chroococcidiopsis*, *Calothrix*, *Chroococcus*, *Gleocapsa*, *Oscillatoria*, *Phormidium*, *Synechococcus*.

Интересен факт е, че България е богата на топли минерални извори. Техният брой е около 850, като предварително извършената литературна справка показва наличието на богата микроводораслова флора сред българските горещи извори – около 200 вида синьо-зелени, както и някои зелени, жълто-зелени, червени и гуатомови микроводорасли.

Високите температури са ограничаващ фактор и в друг тип екстремни

местообитания – областите на засушаване (пустините райони), които също представляват ниша за развиване на екстремофилни и екстремотолерантни микроводораслови видове. В резултат на засушаване тези райони са заселени предимно с халофилни и халотолерантни микроводорасли.

Изследванията показват, че халофилите могат да живеят в среда с висока солева концентрация, близка до степента на насищане. Тези микроорганизми преживяват стресовите условия на висока солева концентрация чрез натрупване на осмолити или чрез поддържане на цитоплазмена солева концентрация, близка до тази на заобикалящата ги среда. Сред най-често използваните от тези микроводорасли осмолити са: глицерол, манитол, захароза, маноза, пролин, глицин бетаин, глутамат бетаин, сорбитол, гликозилглицерол.

Безспорно най-халофилното микроводорасло, способно да се развива при крайно високи концентрации на соли, е *Dunaliella*. Това е силно изявен халофит,

чиито видове показват сериозна поносимост по отношение концентрацията на NaCl в средата, в границите от 60 до 230 g.dm⁻³.

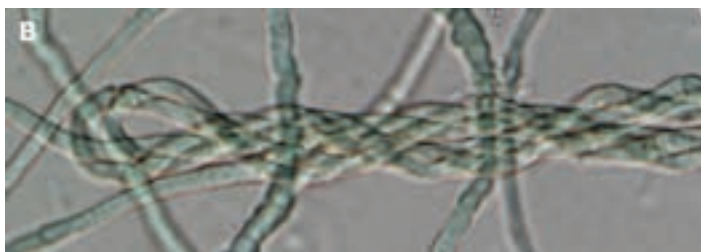
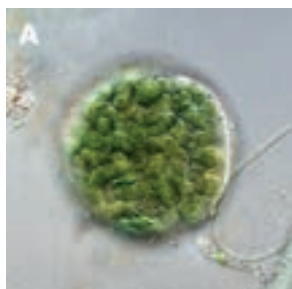
Когато стане въпрос за пустинни местообитания, няма как да не се спомене и добре познатото синьо-зелено нишковано водорасло *Nostoc*. То е откривано предимно в пустинни местности, отличаващи се с условията на продължително засушаване. Това синьо-зелено микроводорасло е типичен представител на свободно живеещите азотфиксиращи организми, засвидетелстващи независимост от хранителния субстрат по отношение на азотния източник.

Други микроводорасли, които имат способността да преодоляват условията на засушаване в пустинните райони са: *Arthronema*, *Chroococcidiopsis*, *Phormidium*, *Oscillatoria*, *Anabaena*, *Nostochopsis*, *Trichocoleus*.

Освен светлинната интензивност, температурата и солева концентрация, pH на средата също оказва значение за разпространението и развитието на микроводорасловите видове, като според този показател те се разделят на алкалофилни и ацидофилни.

Ацидофилните микроводорасли се развиват в среди с pH-стойности по-ниски от 7, като най-често срещани са еукариотните червени микроводорасли *Cyanidium caldarium* и *Galdiera sulfuraria*. Освен ацидофилни, те са и термофилни организми, като представляват единствените фотосинтезиращи микроорганизми в местообитания, където на практика няма междувидова конкуренция. Срещат се предимно в геотермални извори (с ниски pH стойности на водата), изоставени мини за добив на пирит и възлища или вулканични райони, където киселинността на почвите може да достигне до pH 0.05.

За да се развиват микроводораслите в силно кисели среди е необходимо запазване целостта на метаболити като хлорофил, ДНК, АТФ, които са неустойчиви при по-ниски pH стойности. Ацидофилите подържат своята вътреклетъчна среда близка до неутралния пункт. Техните мембрани са крайно непроницаеми за протони от средата в допълнение на изградени механизми, негopusкащи понижаването на pH от вътрешната страна. Установено е, че включването на стероли, някои белтъци и наситени



Микроскопски снимки на микроводорасли, изолирани от области на засушаване:

А – *Nostoc* sp.: засъхващи почви, замърсени с нефтопродукти – София (Снимка: J. Lukavsky – Ibot-CAZ);

В – *Arthronema africanum* – пресъхващи блатата в Кувейт (Снимка: J. Lukavsky – Ibot-CAZ)

мастни киселини в мембраните намалява тяхната пропускливост. С помощта на протонни помпи допълнително се поддържа неутралното ниво. Това от своя страна е свързано с изразходване на АТФ и създаване на допълнителна енергийна необходимост на клетките.

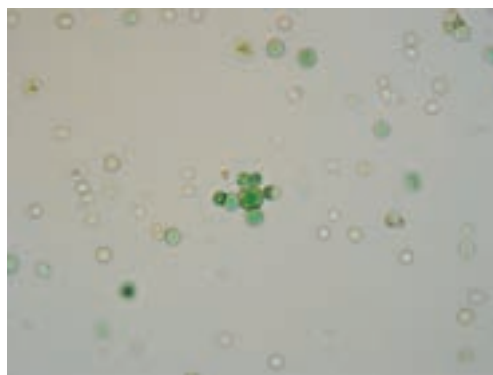
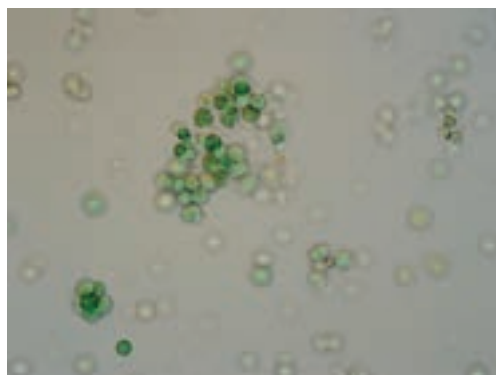
Следващата група екстремофилни организми е тази на алкалофилите. Оптимални за растежа на тези организми са рН стойности над 10. Силно изявено прокариотно алкалофилно микроводорасло е *Plectonema nostocorum*, растящо при рН 13. Сред еукариотните микроорганизми се среща диатомовото водорасло *Nitzschia frustulum*.

Добре познатото синьо-зелено микроводорасло *Spirulina* е също едно от най-срещаните и изучени алкалофилни микроорганизми. Оптималните му рН стойности за растеж са в границите 9.5 – 11. Природно, то се развива в няколко африкански езера, където алкалността на водите е крайно висока (езерата, намиращи се в централна Африка, около езерото Чаг, както и в Източна Африка, по протежението на Източна-африканската рифтова долина (Great

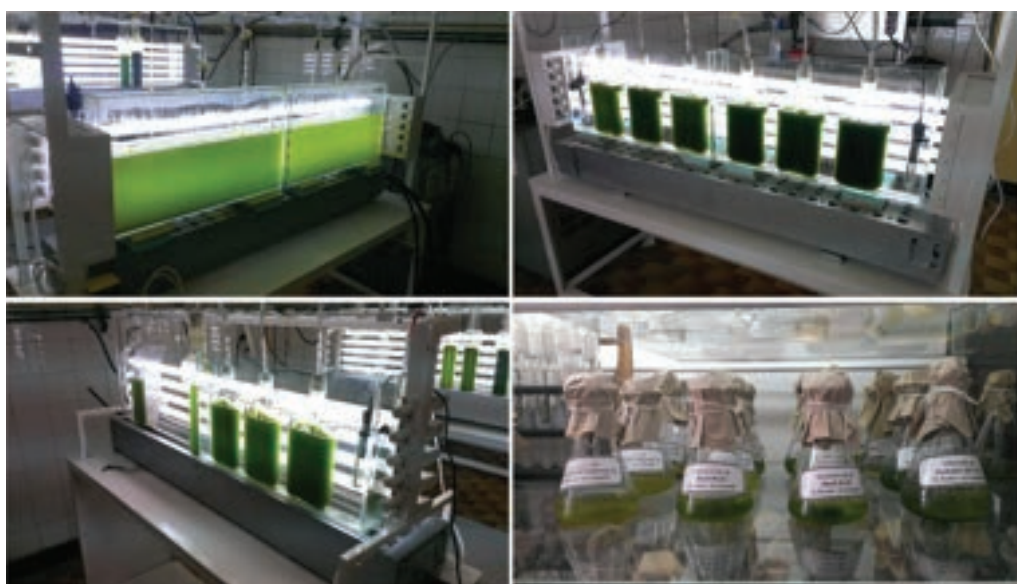
Riff). Силно алкалните и солени води на тези езера са превърнали мястото в твърде негостоприемно за други форми на живот, позволявайки на *Spirulina* да вирее като единичен вид.

Поради засиления интерес към получаване на полезна водораслова биомаса, през 80-те години на XX век са извършени ключови изследвания, свързани с възможността *Spirulina* да бъде производствено отглеждана при естествено осветление, като в момента това микроводорасло е едно от най-често използваните за масово култивиране в световен мащаб.

Микроводораслите от екстремни местообитания са обект на ред научни изследвания и приложения. Поради сравнително бързия растеж на микроводораслите, както и относително високо съдържание на ценни за хранителната и фармацевтична промишленост вещества (високо белтъчно съдържание, фикобилипротеини, омега-3 мастни киселини, антиоксигантни пигменти и др.), тези микроорганизми будят сериозен интерес повече от 60 години. Тяхното „опитомяване“ и производствено отглеждане са



Микроскопски снимки на ацидофилното микроводорасло *Galdieria cf. sulphuraria* (Снимки: Culture collection of Autotrophic Organisms (CCALA) – Trebon, Czech Republic, <http://ccala.butbn.cas.cz/en/galdieria-cf-sulphuraria-galdieri-merola>)



Специализирана апаратура за изследване физикохимичните и биохимични показатели на водорасли от екстремни местообитания, към лаборатория Експериментална алгология (ИФРГ-БАН)

обект на множество научни разработки през последните десетилетия.

В резултат на подробното изучаване на физиологичните и биохимични особености на всеки микроводораслов вид от екстремни местообитания, учените могат да определят неговите граници на устойчивост, както и да изучат механизмите му на приспособяване, като тези изследвания водят до полезни биотехнологични и практически решения, а оттам и до пряка научно-техническа помощ, насочена предимно към малки и средни предприятия за промишлено отглеждане на качествена микроводораслова биомаса, в полза на обществото.

Днес производственото отглеждане на микроводорасли все още не е достигнало съществена икономическа значимост. Ето защо научните изследвания продължават с търсене на опти-

мални условия за отглеждане на различни видове и създаване на подходящи съоръжения.

Лаборатория „Експериментална алгология“ към Институт по физиология на растенията и генетика – БАН е едно от водещите изследователски звена в България, което се занимава основно с изучаване на процеси от физиологията, биохимията и биотехнологиите на микроводорасли (в частност от екстремни местообитания).

Извършваните в лаборатория „Експериментална алгология“ фундаментални изследвания са основа за създаване и непрекъснато усъвършенстване на биотехнологични разработки, които част от екипа използва при проектирането на ферми за промишлено отглеждане на микроводорасли, при заинтересовани страни от бизнес сектора в България. ■

ЛЮБОПИТНО

Най-гревната вода на света

От училище знаем, че водата участва в непрекъснат кръговрат: изпарява се, след това пада обратно като дъжд или сняг, после пак се изпарява... Оказва се обаче, че има вода на Земята, която е била течна в продължение на милиарди години.

През 2016 г. дълбоко в канадска мина изследователи направиха смайващо откритие: най-старият воден басейн в света. На дълбочина от приблизително 3 километра (1,8 мили) водата е била определена като възраст на впечатляващите 2 милиарда години. Откритието отмести „рождената дата“ за най-старата известна вода с най-малко 500 милиона години. Прекишният рекорд се държеше от вода, открита в същата мина от същия

екип през 2013 г., от дълбочина около 2,5 километра. Мината всъщност е най-дълбоката мина за метални руди в света – търсенето на мед, цинк и сребро отвежда миньорите все по-дълбоко и по-дълбоко в земната кора. Канадските изследователи от Университета в Торонто се възползват от възможността, предоставена от мината, да проучват водите все по-навътре в земната кора. Те анализирали водата, открита на около 3 км дълбочина, като изследвали газовете, уловени в нея. Инертни газове като хелий и ксенон могат да бъдат уловени във вода, заседнала в скални пукнатини и измърването им може да покаже колко е стара тази вода.



Така изглежда водата, който е била течна в продължение на милиарди години (Снимка BBC News)



„Когато хората мислят за такава вода, те предположат, че това трябва да е малко количество, хванато в скалата“, казва г-р Барбара Шерууд Лолар (Barbara Sherwood Lollar), професор в катедрата по науки за Земята в Университета в Торонто. „А всъщност тя блъбука направо към вас, тече със скорост от литри в минута – обемът на тази древна вода е много по-голям от очакваното“, пише тя. Нещо повече, огромната възраст на водата не е единственото важно откритие. Когато изследователите анализирали течността, те открили следи от живот в нея. Все пак не са открити истински живи бактерии, а всъщност са намерили „пръстовия отпечатък“ на живота – сулфати, които няма как да са дошли от скалите наоколо. Това позволява да се заключи, че във водата е съществувала някаква форма на микробиален живот за много дълъг период от време.

От факта, че нещо е успяло да живее и да оцелява във вода, която е толкова стара и толкова дълбоко под земята, следват важни изводи. Тези данни могат да ни разкажат не само за живота на Земята преди милиарди години, но могат също да помогнат в търсенето на живот извън нашата планета. По повърхността на Марс отдавна не текат реки, но там все още има джобове с вода и лед под повърхността. Те далеч не са толкова дълбоки, колкото водата, открита в Канада, и е възможно да са в състояние да осигурят необходимите условия за живот на микроорганизми. Изследователите смятат, че изучаването на тези места с дъвна течна вода на Земята може да им даде указания за това къде другаде може да се намери живот в Слънчевата система, например океаните на ледените луни на Сатурн и Юпитер.

По материали на IFL Science