

Микроорганизми као хемијски фактор животне средине

- микроорганизми су најједноставнија жива бића
- према начину исхране- хетеротрофни и аутотрофни
- аутотрофни, мањина, могу из малих молекула да синтетизују органску супстанцу
- хетеротрофни, већина, разграђивачи, разлажу већ готову органску супстанцу у мале молекуле, добија се и енергија
- хетеротрофни су значајнији за животну средину
- карактеришу их три врсте метаболизма: врење (ферментација), анаеробно дисање и аеробно дисање
- врење и анаеробно дисање се одвијају у анаеробној средини, кисеоник је, ако га и има, везан, а не у молекулском облику
- аеробно дисање се одвија у аеробној средини, постоји O_2
- поређења ради, све врсте метаболизма ћемо посматрати на примеру хексозе

- врење је најпримитивнији облик метаболизма
- нема другог извора О, користи се О из саме органске супстанце
- врењем могу да се прерађују само једињења која имају О
- угљоводоници, примера ради, не могу
- ензим премешта О из једног у други део молекула, долази до распада већег у мање молекуле
- увек постоје две врсте производа, у једној је С крајње оксидован (нпр. као CO_2) и тај део процеса је егзотерман, даје топлоту
- други производ је једињење у коме је С у редукованом облику у односу на полазно једињење.
- један је део молекула, дакле, дозор, а други акцептор електрона
- оксидациони број С у хексози ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) је нула
- сав кисеоник из хексозе се утроши за оксидацију водоника

- нема га довољно за потпуну оксидацију угљеника
- ферментацијом $C_6H_{12}O_6$ настају CO_2 у коме С има окс. број + 4
- у другом је производу окс. број мањи од нуле
- у зависности од тога шта је редуковани производ разликујемо
 - ...етанолно алкохолно врење (производ је етанол, свуда где има доста угљених хидрата, нпр. труло воће), где уз помоћ ензима алкохолног врења зимазе долази до реакције



- ...метанолно алкохолно врење (производ је метанол)
- ...млечнокиселинско врење (производ је млечна киселина)
- ...метанско врење (производ је метан, овде је С крајње редукован, и има окс. број -4). Метанско врење се често одвија у барама (барски гас) и на другим местима где има вишка органске супстанце, а мањак кисеоника. Овај процес се назива метаногенеза

- паралелно могу да теку и теку разни процеси врења, ако има много органске супстанце насељава се велики број различитих микроба
- при анаеробном дисању постоји спољашњи извор кисеоника који врши оксидацију, тј. једињење које је извор кисеоника
- оксидација није ефикасна јер се не врши потпуно
- зависи од редокс-потенцијала једињења које је извор кисеоника
- ако има висок редокс-потенцијал (као MnO_2 , на пример), оксидација је ефикасна, а топлотни ефекат је велики
- ако једињење које је извор има низак потенцијал (сулфати, на пример), оксидација није ефикасна, а топлотни ефекат је мали
$$C_6H_{12}O_6 + 3SO_4^{2-} + 6H^+ \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + 3H_2S + 161,5 \text{ kJ}$$
- процес са сулфатима је раширен, јер су сулфати чести у ж.с.

- добијају се сулфиди, доказ за постојање редукционе средине
- енергетски су, од сулфата, повољнији MnO_2 , H_2O_2 , NO_3^-
- потпуна оксидација могућа у аеробној средини, са довољно O_2
- аеробно дисање- извор O_2 је атмосферски, молекулски O
- енергетски, аеробно дисање је најповољније



- аеробним дисањем микроорганизми добијају највише енергије

100% : 5,9%: 4,1%

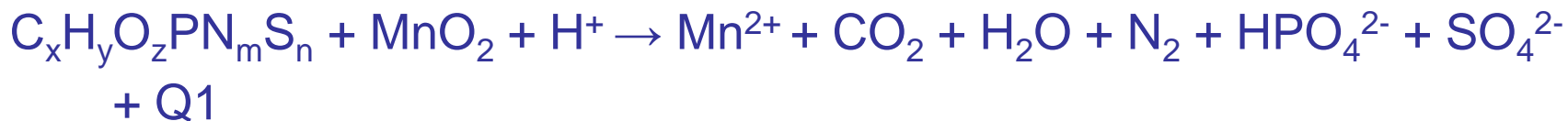
- ови процеси су и неколико пута бржи од анаеробних
- ради брзе разградње органске супстанце, циљ је чувати аеробност
- аеробна средина омогућава практично пречишћавање, нпр. вода
- еволуција: прво врење, потом анаеробно, па аеробно дисање

Анаеробна стања, мало детаљније

- микробиолошка активност дакле зависи добрим делом од $[O_2]$ - најважније карактеристике вода
- $[O_2]$ зависи од апсорпције из ваздуха, интензитета процеса фотосинтезе, температуре...
- ...веома важан фактор за $[O_2]$ је количина органске супстанце коју треба разложити
- у води постоји и мало неорганских супстанци које могу да се оксидују, али се оне не стварају нагло, утицај им је мали
- аеробно стање постоји једино када има довољно кисеоника
- као последица довољне $[O_2]$ теку сви аеробни процеси и могу да живе сви живи организми који троше кисеоник
- постоји више анаеробних стања, јер недостатак O_2 може бити различит
- због тога постоји градација редокс-потенцијала од вишег ка нижем

- анаеробна стања су важна аналитички за екохемијско стање неке воде, а имају велике последице и на геохемијско стање
- потпуна оксидација органске супстанце до малих молекула – пожељан процес
- ако се одвија, не загађује се вода
- потпуна оксидација могућа у аеробној средини, са довољно O_2
- проблем: растворљивост O_2 у води није превелика, вода тешко може да садржи сав O_2 за све аеробне процесе и дисање истовремено
- зато долази до ситуације у којој је $[O_2]$ смањена, до настанка једног анаеробног стања у коме је O_2 у мањку према органској супстанци
- органска супстанца онда може бити загађивач
- микроорганизми разграђују органску супстанцу аеробно док има O_2

- када O_2 нестане, аеробни микроорганизми умиру, стварајући додатну мртву биомасу
- у дејство ступају анаеробни и факултативно анаеробни микроорганизми
- анаеробним дисањем и врењем разграђују органску супстанцу
- увек се врши термодинамички најповољнији процес
- од могућих извора O_2 највећи редокс-потенцијал има MnO_2
- тада се ослобађа највећа могућа количина енергије



- ово је најблаже стање анаеробности, ослобађа се највећа количина енергије
- та количина енергије је ипак мања од енергије аеробног процеса
- $Q1 < E$

- MnO_2 није растворна, јонска, врста, већ чврста супстанца
- не може да реши проблем у целој води, већ само у својој близини
- локални, тачкасти, процеси
- MnO_2 може да постоји и у аеробној и у анаеробној средини
- може да остане нередукован, ако у околини није било органске супстанце
- у језеру Груза се лети ствара аеробна средина, MnO_2 се таложи
- када средина постане анаеробна, MnO_2 се раствара, јавља се Mn^{2+}
- вода мора да се додатно пречишћава
- ослобађају се и копреципитовани јони- додатан проблем

ако је MnO_2 утрошен, или га нема, микроорганизми узимају кисеоник из следећег могућег извора, NO_3^- јона



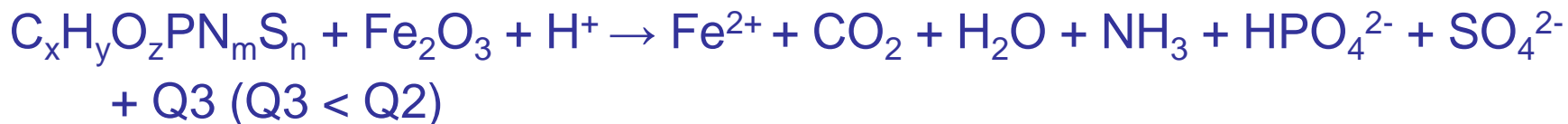
- добија се мања енергија него при реакцији са MnO_2 ($\text{Q2} < \text{Q1}$)

- $[\text{NO}_3^-]$ у водама у нормалним околностима мала

- потроши се брзо, а пошто је јон и свуда стиже, и у потпуности

- долази до потпуног исцрпљења NO_3^- из воде и седимената

- тада микроорганизми прелазе на следећи извор, Fe_2O_3

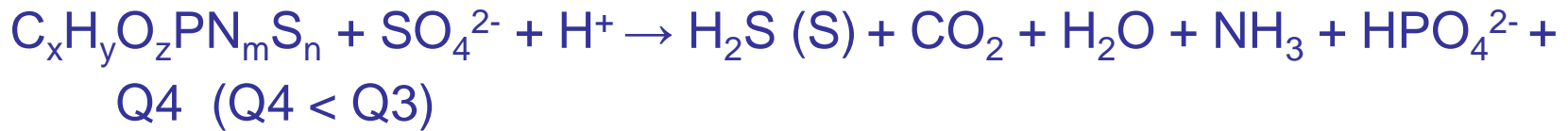


- Fe_2O_3 је, попут MnO_2 , чврста, непокретна фаза

- делује локално, не мора да буде утрошен до краја, ако локално нема органске супстанце

- Fe_2O_3 копреципитује у аеробној средини и тешке метале

- његовим растварањем се у раствор прелазе и тешки метали
- долази до додатног загађивања воде
- када се виши оксиди гвожђа потроше, микроорганизми користе следећи, најважнији акцептор протона, а то је SO_4^{2-}



- SO_4^{2-} је најзаступљенији од свих извора кисеоника, такође је и покретан, па је ово најзаступљенији анаеробни процес
- када се за разлагање органске супстанце користи SO_4^{2-} стање је јако загађено, интензивни су редукциони услови
- влада сулфатна загађена атмосфера, настају токсични NH_3 и H_2S
- H_2S може да уништава живи свет, чак и неке микроорганизме
- стварање H_2S има и низ хемијских последица

- H_2S везује јоне тешких метала и гради слабо растворне сулфиде
- због тога се смањују [] тешких метала
- долази до неке врсте пречишћавања вода, из раствора нестају и јони тешких метала и H_2S
- сва четири процеса анаеробног дисања троше протоне, мења се рН
- резултат је заалкаљивање вода, ремети се и $\text{CO}_2/\text{CO}_3^{2-}$ равнотежа
- када се потроши и SO_4^{2-} јон, нема других извора кисеоника
- почиње низ најанаеробнијих процеса, процеса врења (ферментације)
- органска супстанца се оксидује својим сопственим кисеоником
- кисеоник се премешта са једног на други угљеников атом, један се угљеник оксидује, други редукује

- врења могу бити разноврсна: алкохолна (етанолно, метанолно...), киселинска (млечно- киселинско, бутерно-киселинско, сирћетно-киселинско...) и, крајње, метанско

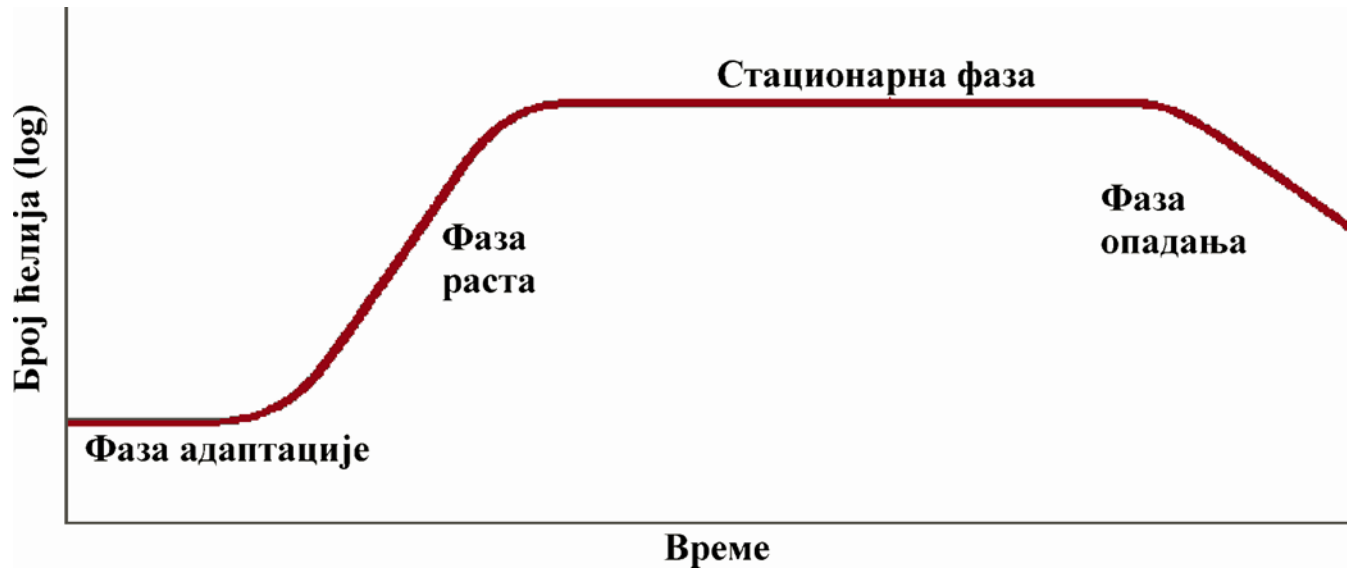


- метанско врење је најмање повољан процес
- одвија се у загађеној води, на дну бара
- то је практично крајње стање, после њега следи још само анаеробно разлагање CO_2 , које се врло ретко догађа
- захваљујући постојању непокретних извора кисеоника, анаеробни и процеси врења могу да се преплићу, неколико њих може да се одвија истовремено

Специфичности микробиолошких деградација

- брзина којом се једињења биотранформишу зависи од улоге у метаболизму хетеротрофних м.о. и низа других фактора
- микроорганизми прво морају да се привикну на присуство “нових” супстанци у свом окружењу
- због тога долази до застоја у расту - 2 до 50 дана
- често је неопходно да дође до убрзаног развоја дела заједнице која лучи потребне ензиме (индукција ензима)
- период адаптације је краћи код заједница које су већ биле изложене одређеним утицајима
- подручја са већим заједницама у принципу имају краћи период прилагођавања
- ако у заједници постоји извор лакше деградабилног С, он ће се комплетно разложити пре теже деградабилног С
- постоје доње границе [] испод којих нема прилагођавања

- након прилагођавања експоненцијално расте количина м.о.
- по окончању фазе раста долази до равнотеже популације и супстанце која је присутна → нема раста популације
- када дође до исцрпљења извора С, долази до пада броја м.о.
- кометаболизам – деградација у присуству других једињења
- брзина којом се једињења биотрансформишу зависи од улоге у метаболизму хетеротрофних м.о. и низа других фактора
- ензими мале специфичности мењају једињења које други ензими не могу да разложе
- обично су једињења која подлежу кометаболизму слична у структури једињењима која подлежу “регуларној” трансформацији, али не дају довољно енергије
- обично спорија од “обичног” метаболизма
- нема периода прилагођавања
- у терестријалним системима, осим органског и неорганског дела земљишта присутни и вода и микроорганизми



- што је више воде, више је и микроорганизама
- уколико нема воде, мања м.о. активност, м.о. на земљишту

Биљке као хемијски фактор животне средине

- биљке, распрострањена категорија, прилагођене на све услове
 - од поларних предела до пустиња, од врхова планина до дна мора
 - биљке представљају јак хемијски фактор из више разлога
1. Способне су да врше фотосинтезу, стварају готово сав кисеоник и претварају мале молекуле (CO_2 и H_2O) у органску супстанцу. Циклус угљеника и циклус воде се одвијају преко биљака.
 2. Биљке синтетизују читав низ супстанци, свака биљка понешто другачије и карактеристично, зато су неке и лековите. Те супстанце остају у природи и када биљка заврши живот.
 3. Биљке трансформишу једињења која у њих улазе. Ако је нека супстанца загађивач, ако је штетна, биљка је трансформише у мање штетну...

... или у супстанцу која се лакше елиминише. Како су биљке водени медијуми, да би се супстанца лакше елиминисала, мора да буде “прерађена” из неполарног, хидрофобног, у поларни, хидрофилни облик

- супстанце које биљке теже да елиминишу су “ксенобиотици”, у преводу, “супстанце стране живом свету”

- трансформације могу бити разноврсне

оксидативне: хидроксиловање, из хлорованог аромата се добија хлоровани фенол који је токсичнији, али се брже елиминише

оксидативне: деметиловање, из 2,4-дихлорфеноксисирћетне киселине (2,4D) се добија 2,4-дихлорфенол. 2,4D је јак хербицид који делује селективно, уништава широколисно биље, мутаген је и забрањен за употребу. Американци га користили у Вијетнаму (“Orange agent”), уништили више од трећине шума, али и више хиљада људи учинили инвалидима и утицали им на пород.

Добијени производ трансформације је токсичан, али хидрофилнији оксидативне: грађење еоксида, добијају

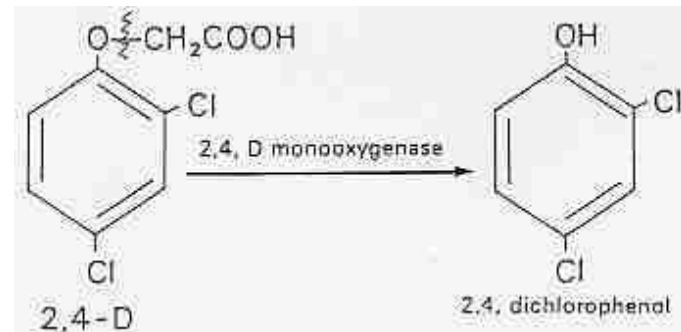
се епоксиди који су хидрофилни и реактивни, бивају елиминисани или се разграђују

редуктивне: ензиматска редукција ароматских нитро-, у ароматска amino- једињења, добија се токсично, али једињење подложно елиминацији или даљој трансформацији

хидролитичке: неки ксенобиотици се ензимском хидролизом преводе у поларна једињења која се лакше елиминишу

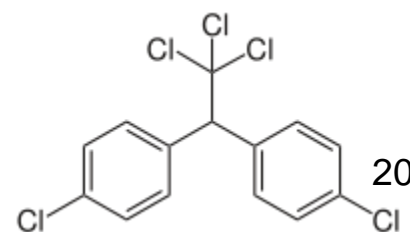
конјугационе: принцип заступљен код биљака, али и животиња.

Ксенобиотик се везује за мали хидрофилни молекул (нпр. хексозе), а конјугат је поларнији и лакше се елиминише. Код животиња се овај процес одвија у јетри.



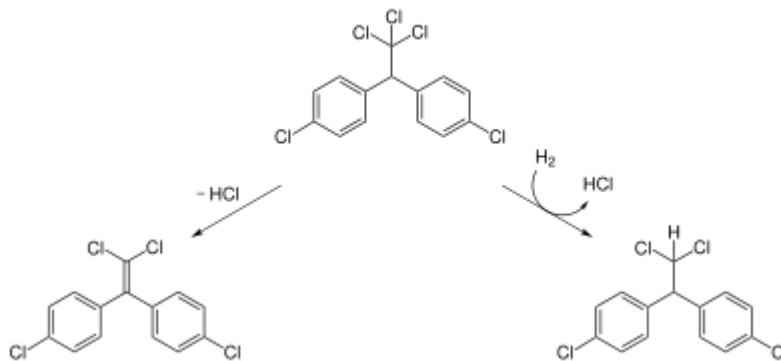
Биоконцентравање

- догађа се да је загађивање последица борба против загађивања
- пример 1: класичан начин пречишћавања пијаћих вода је хлоровање, ради уништавања микроорганизама, тј. дезинфиковања
- хлоровање доиста дезинфикује пијаћу воду, али се хлорују и присутна органска једињења у води, која су иначе безопасна
- стварају се хлоровани угљоводоници који су мутагена и потенцијално канцерогена једињења
- вода која садржи органску супстанцу стога мора да се пропушта преко активног угља, што поскупљује њено пречишћавање
- пример 2: веровало се да је DDT (1,1-бис-4-хлорфенил-2,2,2-трихлоретан) инсектицид који ефикасно уништава инсекте и тако штити и човека и пољопривредне културе



- синтетисао га је Цајдлер 1874. године
- 1939. Милер открио инсектицидна својства, 1948. године за то добио Нобелову награду (Цајдлера сви заборавили)
- САД почеле производњу током II светског рата, како би уништавали буве, маларичне комарце, стенице и сл.
- већ 1952. године се установило да се DDT нагомилава у масном ткиву човека и животиња и ту остаје
- ово сазнање покренуло даља испитивања
- више од деценије испитиван утицај DDT-ја на живи свет, данас се готово све зна
- време излучивања износи 3-7 година, најбрже преко млека дојилђа
- одојчад се трују од почетка живота
- отпорна супстанца у ж.с., период полураспада 20 година
- друге супстанце се брже разлажу под дејством микроорганизама

- DDT осетљив на дејство сунчеве светлости, отцепљује се HCl, а ствара, као први интермедијер, још отровнија супстанца



- DDT је мутагена и потенцијално канцерогена супстанца, токсиколошки нарушава метаболизам, изазива срчана оболења
- негативно утиче на размножавање птица, љуске јајета тање, па се јаја разбијају у гнезду
- јастребови тровани DDT-јем се више не размножавају
- DDT негативно утиче и на фотосинтезу, умањује фотосинтетску моћ морског фитопланктона

- почетком '70-тих година прошлог века употреба у САД забрањена
- источноевропске земље и десет година после забране у САД
- DDT се преноси ланцем исхране, како се иде ка врху пирамиде, повећава се концентрација DDT-ја у организму
 1. морски планктон (0,04 ppm) → морски мекушци (0,42 ppm) → рибе (0,2-0,5 ppm) → орао рибар (5,2-75,5 ppm)
 2. вода (0,015 ppm) → планктон (5 ppm) → рибе (10-25 ppm) → гњурац (1600 ppm, конц. довољна да ову птицу убије)
- појава концентровања супстанце дуж ланца исхране означава се као биоконцентровање
- откривена је код DDT-ја, али је могућа и код других супстанци (живе, олова, на пример)
- човек је последња карика у ланцу исхране, стога је угрожен
- степен угрожености је нешто мањи, јер је човек сваштојед

- ако би сви ланци исхране на чијем је крају човек били угрожени, то би угрозило опстанак људске врсте
- суштински (и себични) разлог за проучавање хемијских и других процеса у животној средини

Интеракције биосфере и других фактора животне средине

- организми, популације, биоценозе и екосистеми изложени различитим утицајима- биотским и абиотским факторима стреса
- измена климе; промена радијације, извора исхране, односа ловац-ловина; паразити, болести, борба унутар групе и између група...
- способност да се реагује на стрес је важна карактеристика свих бића
- нема развоја јединке или заједнице ако нема способности да се на стрес одговори
- стрес (и одговор на стрес) је једна од најважнијих покретачких снага еволуције
- унутар еволуционих епоха, присутна слична количина стреса
- захваљујући томе врсте могу да се прилагоде изменама до којих долази

- у последњих 200 година, међутим, измене постају драматичне
- захваљујући људским активностима, природа суочена са новим супстанцама које претходно нису постојале
- нпр. антропогени ксенобиотици, радионуклиди
- “старе”, познате, а потенцијално штетне супстанце доспевале и доспевају у животну средину у раније незамисливим количинама
- нпр. тешки метали, природни радионуклиди
- ове чињенице у комбинацији са природним факторима стреса доводиле често до стања која су неподношљива за организме или популације
- и повећање становништва и пораст потрошње енергије доводе до драматичних последица
- историјски веза између загађења и природе често разматрана
- први описао Плиније Старији (23-79 н.е.) “Historiae Naturalis”

- описао штету нанесену дрвећу у близини места на којима је сулфид гвожђа пржењем претваран у оксид
- добијани SO_2 директно узроковао штету, прва веза између загађења атмосфере и живота на Земљи
- у касном 17. и раном 18. веку повезивано загађење Темзе и Рајне и смрт риба у њима
- углавном било загађење комуналним водама
- у касном средњем веку људи постали свесни да биодиверзитет утиче на њихов квалитет живота
- Фердинанд I 1535. наредио да се шуме у одређеним деловима штите
- биле му битне због заштите од лавине



- након тога регулисање лова, ради спречавања истребљења врста
- “модерна” фаза бриге за животну средину почела 50-тих година прошлог века
- почело се изучавање екосистема као целина али и њихових различитих компоненти
- како функционишу екосистеми и њихови делови, која је веза између њиховог опстанка и човекових активности (пољопривреде, добијања енергије, развоја индустрије...)?

Биоиндикатори и биомонитори

- биоиндиковање и биомониторинг- јефтини и обећавајући метод посматрања утицаја спољних фактора на екосистеме
- предност 1: дају резултате за утицај који није само моменталан, већ дугорочан
- предност 2: показују разлику незагађене и загађене животне средине
- различите дефиниције и различита очекивања
- биоиндикатор- организам, део организма или заједница организама који садрже информацију о квалитету животне средине или дела животне средине
- биомонитор- организам, део организма или заједница организама који садрже информацију о кванитативном аспекту квалитета животне средине или дела животне средине

- биомонитор је увек биоиндикатор
- биоиндикатор није увек неопходно и биомонитор
- биоиндикатори и биомонитори упоредиви са инструменталним методама
- могућ активни и пасивни биомониторинг (биоиндиковање)
- при пасивном се испитују организми који су природно налазе у животној средини (или се испитује њихова реакција)
- при активном се организми који су по стандардизованој процедури добијени у лабораторији односе на терен и излажу утицају који постоји у животној средини
- након одређеног, мерљивог, времена се мери концентрација ксенобиотика или анализира реакција организма
- специфични биоиндикатори су они код којих долази до измена услед дејства специфичне супстанце

- неспецифични су они код којих долази до идентичне промене у случају дејства различитих супстанци
- организми могу да се поделе и на оне који су акумулациони индикатори (монитори) и оне који су ефектни индикатори (монитори)
- ефектни биоиндикатори су они који брзо реагују на стрес сопственим значајним променама, док су акумулациони они који су у стању да дуго опстану концентрујући у себи антропогене загађиваче
- ефекти могу бити морфолошке, хистолошке или промене ћелијске структуре, измене метаболичко/биохемијских процеса, понашања или броја или структуре популације
- подела није оштра, често акумулациони индикатори показују и измене које су карактеристичне за ефектне
- ово поготово случај код високих концентрација ксенобиотика
- важно правити разлику како долази до биоакумулације



- зависи од интеракција између биоиндикатора и живог и неживог окружења
- биоконцентрација- термин за директну сорпцију супстанци из физичког окружења
- биоконцентрација укључује и респираторни систем
- биљке могу само на овај начин да уносе ксенобиотику
- било преко кореног система, био преко лишћа
- ово је и главни начин уноса код водених животиња
- биомаркери су мерљиви биолошки параметри на генетском, ензимском, физиолошком, морфолошком нивоу
- код биомаркера структурна или функционална промена показује утицај животне средине
- показује утицај ксенобиотика у квалитативном и понекад квантитативном погледу
- пример: тамњење људске коже услед сунчања

- биосензори- мерни уређаји који производи сигнал који је у пропорцији са концентрацијом одређене супстанце
- ово се чини кроз комбинацију погодног биолошког система (ензима, антитела, мембране, органеле, ћелије, ткива) и опреме за трансмисију (потенциометријске или амперометријске електроде, оптичког или оптоелектричног читача)
- биоесеј или биотест је рутинска токсиколошко-фармаколошка процедура за тестирање ефеката супстанци на организме
- обично у лабораторији, али може да се ради и теренски
- услови су стандардизовани
- биоесеји користе биомаркере или ређе биосензоре и могу да се користе у биомониторингу или биоиндиковању
- еколошки индикатори су врсте за које се зна да су осетљиве према процесима или загађењима који воде ка промени биодиверзитета

- узимају се као сурогати за веће заједнице
- најчешће се користе за другу групу коју би било тешко или скупо идентификовати или контролисати
- називају се и индикаторима биодиверзитета
- мерењем називамо квалитативно и квантитативно посматрање, уколико уопште нема или има веома мало понављања
- надгледањем називамо опсежан програм мерења, предузет како би се у неком ограниченом временском периоду установила нека вредност
- биолошки мониторинг је регуларно, систематско коришћење организама како би се установио квалитет животне средине
- толеранција је жељена отпорност организма или заједнице на неповољне абиотске (клима, зрачење, загађивачи) или биотске (паразити, патогени) факторе
- при толеранцији је могуће опазити адаптацију организама, пре свега кроз физиолошке измене (имуно или ензимски одговор)³⁴

- резистентност је генетски изведена способност да се издржи стрес
- сви толерантни организми су резистентни, али нису сви резистентни организми толерантни
- често разлика између ова два термина није потпуно јасна
- осетљивост организма или заједнице означава пријемчивост према биотској или абиотској промени тј. стресу
- осетљивост је ниска ако су резистентност или толерантност високе, висока ако су резистентност или толерантност ниске
- предности биомониторинга и биомонитора:

у условима хроничног антропогеног стреса могу да реагују, захваљујући кумулативном ефекту, и на ниске новонастале промене

укључују у себе све ефекте које имају биолошку важност, одражавају укупно стање животне средине, и загађења и друге утицаје

искључују неопходност мерења великог низа физичких и хемијских параметара

дају податке о брзини промена у животној средини

показују тенденције промена у животној средини

указују на путеве загађивача у животној средини, места њихове акумулације, као и могуће начине уласка у ланац исхране

дају могућност процене утицаја различитих антропогених супстанци на човека и животну средину, као и могућност контроле њиховог дејства

- практично сваки организам може да се користи као биоиндикатор

- не могу јединке које су болесне, које су напале штеточине или паразити

- идеални биоиндикатор мора да буде:

типичан за дате услове

да има високу бројност популације у датом екотопу

да буде настањен на одређеној локацији у дугом, вишегодишњем периоду, како би се могла пратити динамика загађивања

да се налази у условима погодним за узимање узорака

да даје могућност извођења анализа без претходног концентровања узорака

да га карактеришу позитивна и јасна корелација између концентрације загађивача у организму и средини која се испитује

да има кратак период онтогенезе, тј. да се брзо након дејства стреса (загађивача) виде или могу измерити промене и да се могу временски повезати са загађивачем

да се користи у природним условима његовог пребивања

- реакција биоиндикатора мора бити јасно изражена, специфична, лако установљива визуелно или уз помоћ опреме

- приликом избора индикатора неопходно је узети у обзир и економске параметре, као и политику заштите различитих врста
- биоиндиковање читаве популације се спроводи уколико се примећују негативне промене на нивоу целе популације
- смањење броја јединки, измена полна структура, скраћена дужина живота...

Биоиндикатори: Пример маховина

- маховине садрже око 25.000 врста
- деле се у четири класе, рожњаче (*Anthocerotopsida*), две врсте јетрењача (*Marchantiopsida*, *Jungermanniopsida*) и праве маховине, или маховине у ужем смислу речи (*Bryopsida*)
- користе се у све већем броју програма биомониторинга
- пре свега захваљујући изузетним физиолошким и анатомским особинама
- на различите начине сорбују воду и минерале
- већина су мале величине, “лишће” се састоји од само једног слоја ћелија
- однос површина/запремина је велик
- због мале величине, стање микросредине важније од стања макросредине
- већина добија и воду и минералне нутријенте преко атмосферске депозиције

- добро припремљене за то - мале или непостојеће вакуоле, ако нема, а често нема воска на површини...
- ...нема ни слоја који одбија воду
- неке врсте могу да добијају воду и минерале и из подлоге
- неке чак (*Polytrichales*) имају водопроводна ткива
- физичке и хемијске особине подлоге кључне за опстанак и развој
- маховине су прилагођене опстанку у влажним срединама
- велике количине воде се задржавају у ћелијама
- капиларни систем задржава и влагу споља
- неке су врсте толерантне на суве услове
- расту на најразличитијим површинама
- маховине су веома осетљиве на промене у животној средини
- због тога су одлични индикатори и промена које је узроковао човек

- већина показује смањење виталности, које се огледа у промени боје, услед оштећења структуре хлоропласта
- такође, могуће и смањење брзине раста појединих узорака или целих популација
- у сваком случају, долази до смањења популације и истребљења
- и међу маховинама постоји распон у толеранцији, постоје толерантне и веома осетљиве јединке (и врсте)
- толеранција зависи од врсте маховине, али и типа загађивача
- при анализама понашања се морају у обзир узети и климатске промене и услови, које доста утичу на понашање маховина
- маховине су, са друге стране, веома отпорне према неким супстанцама које су изузетно токсичне за већину других
- нпр. тешки метали, радионуклиди, разна органска једињења

- због начина исхране могу чак и да их акумулују, без последица по сопствено функционисање
- могу бити коршћени као акумулациони индикатори и као ефектни индикатори
- 1968. шведски еколози Рихлинг и Тилер први користили маховине као индикаторе загађења тешким металима
- захваљујући физиолошким и морфолошким особинама, маховине употребљиве као акумулациони индикатори



Up: Moss bag

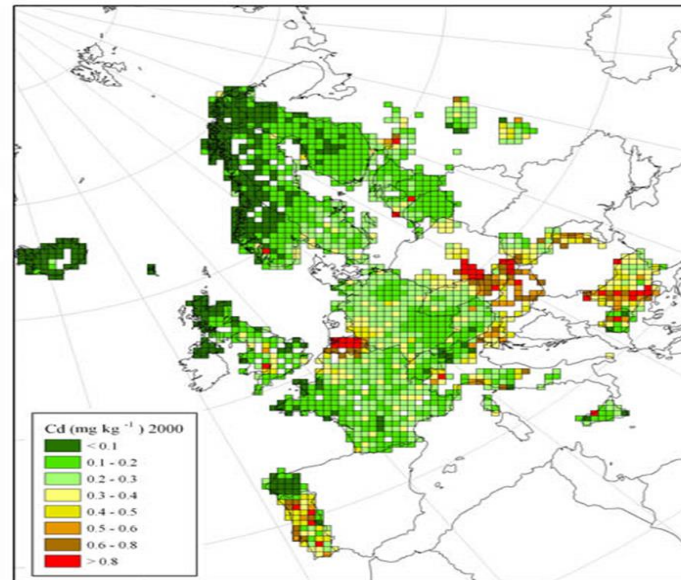
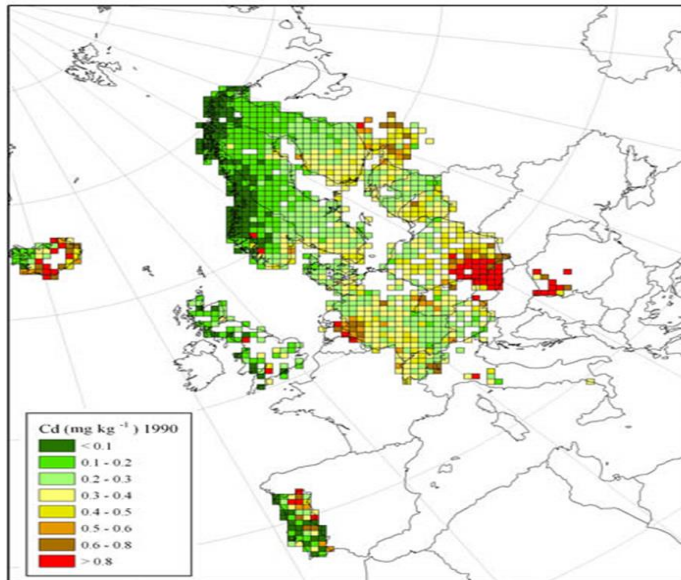
Left: Moss *Sphagnum* sp.

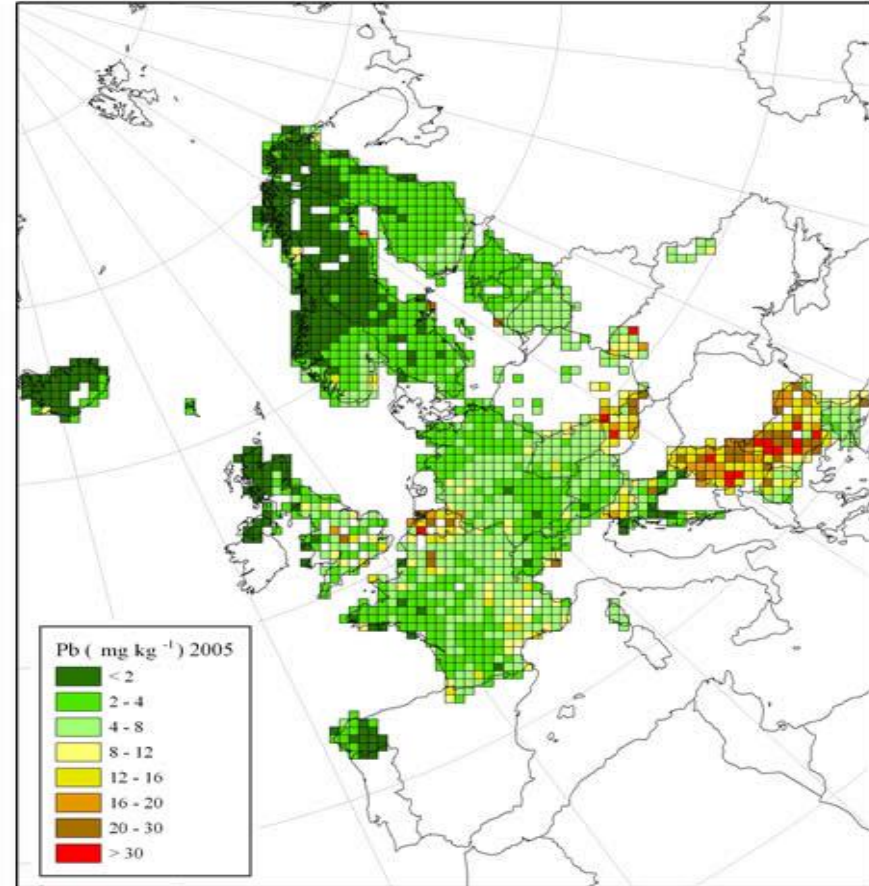
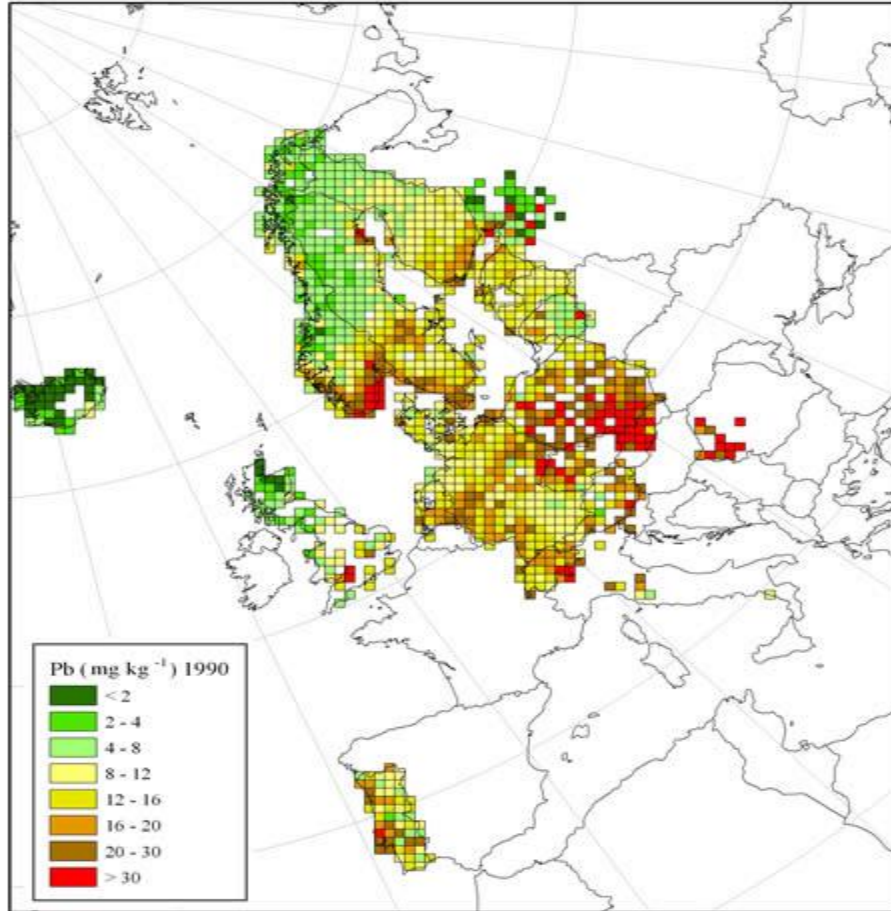


- уз то, код неких (*Hylocomium splendens*, *Sphagnum spp.*) могуће препознати делове који су израсли у одређеном временском сегменту, нпр. годину дана
- код њих могуће одредити време изложености и старост маховина
- ово једна од највећих предности маховина као индикатора
- неке од врста маховина су веома географски раширене- могуће поредити утицаје у различитим крајевима света
- већина дуго живи, могуће пратити депозицију 2-5 година
- коришћење маховина једноставно и релативно јефтино
- коришћене за утврђивање тренутног стања загађености тешким металима, као и загађења у прошлости
- систематско коришћење почело у Скандинавији 1980.
- 1990. проширено на 21 земљу Европе
- од 1995. учествује 28 европских земаља

- већина узорака се узима сваких пет година
- сваке пете и десете године у деценији је узорковање
- концентрације As, Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Ni, V, Zn у Скандинавији и северним острвима сакупљане још у 70-тим и 80-тим
- коришћене *Hylocomium splendens* и *Pleurozium schreberi*
- постојала битна разлика у концентрацијама
- највеће концентрације биле на југу полуострва, који је под утицајем емисије тешких метала из Западне Европе
- концентрација метала опадала ка северу, најнижа на Исланду и Шпицберговим острвима
- овај пад концентрације југ-север је у складу и са измереним концентрацијама метала у атмосфери
- истраживања рађена после 1990. године у већем броју европских земаља доказала да постоје регионалне разлике
- уз две горње, коришћена и *Hypnum cupressiforme*

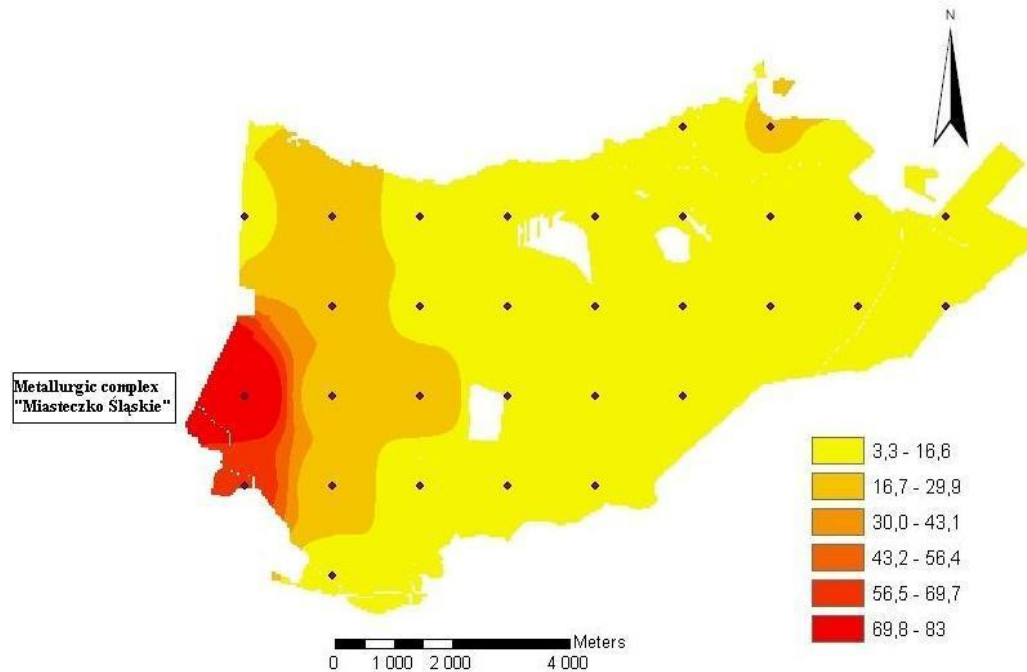
- Cd, Pb, V - јасно опадање концентрација од Централне Европе ка северној Скандинавији
- Cr, Cu, Fe, Ni, Zn- мање, али присутно опадање
- поготово код Ni, Cr на западу полуострву Кола постоји и раст
- тамо велики број топионица
- континентална и национална истраживања током година показала да у последњих 20 година концентрације падају



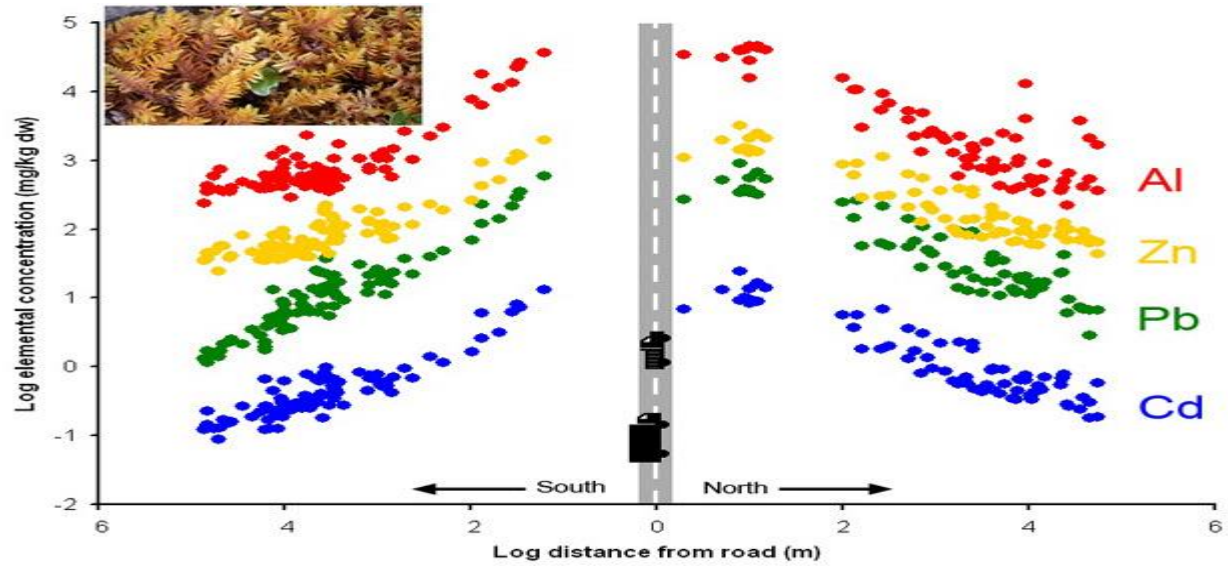


- разлог пре свега стриктнија контрола емисиј, бољи филтери, затварање старих постројења
- у случају Pb и увођење безоловних бензина
- рађено и доста регионалних студија, по целој Европи
- мрежа узорака много шира него за паневропску студију
- истраживања углавном показала локацијске разлике
- генерално, живља и старија тешка индустрија, доводи до веће концентрације
- чак одлична корелација између годишње производње и процењене емисије и концентрације у маховинама
- јасна корелација између одређеног метала и његове производње (пример, анализа Ni на полуострву Коли)
- концентрације тешких метала падале при удаљавању од индустријских објеката, центара насеља, аутопутева

- нпр. при анализи узорака из Кракова се дошло до податка да концентрација Fe пада 2,5x између 5. и 17. км од челичане



- концентрације Cd и Pb не опадају том брзином
- ова два метала имају и друге изворе у граду
- у случају шведских аутопутева и Pb, опадање је и драматичније, 9x на 150 m од аутопута



Биоиндикатори: Пример мекушаца

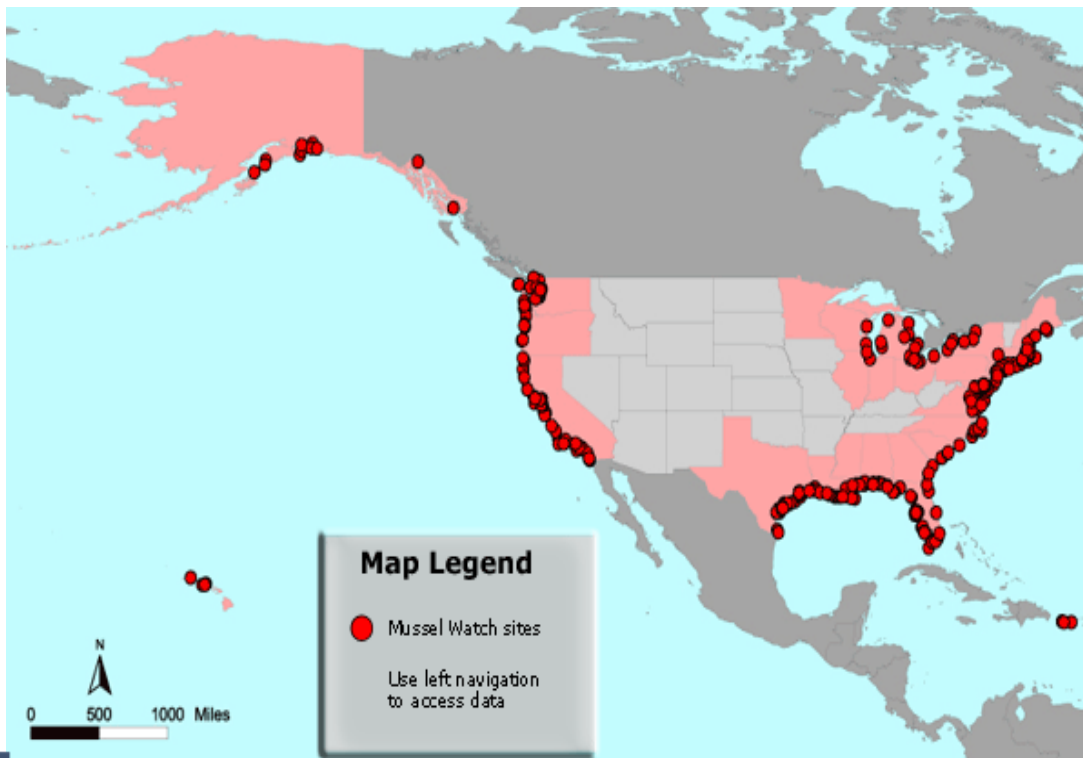
- једна од најразноврснијих група у животињском царству
- преко 130.000 различитих јединки
- од седам класа мекушаца, гастроподи су најбројнији (преко 80%)
- двокапкасти мекушци су преко 15%
- иако су мекушци пре свега морска група организама, ове две групе су присутне и у слатким водама
- гастроподи постоје и у терестријалном окружењу → мекушци практично свуда од океана, мочвара, река и језера и њихових обала до шума и планина
- присутни и у степама и пустињама, на свим географским дужинама од поларних до тропских
- захваљујући расподели и великом броју врста, имају важну еколошку улогу у воденим и терестријалним системима

- гастроподи (пужеви, пужеви голаћи...), око 110.000 врста, живе у свим терестријалним, слатко- и слановодним срединама, степама, пустињама, поларни регионима, планинама, морама, мочварама
- двокапкасти мекушци (шкољке...), око 25.000 врста, налазе се у свим слатководним и слановодним срединама
- главношци (октоподи, лигње...), око 750 врста, живе у морским срединама, од плићака и површинских вода до већих дубина
- полиплакофора, око 1000 врста, морски бентички организми, у углавном у еулиторалној зони, али и до 4000 m дубине
- скафоподе, око 350 врста, само у морским срединама, од еулиторалне зоне до 7000 m дубине
- аплакофора, око 250 врста, искључиво марински бентички организми, од нивоа ниских плима до преко 6000 m дубине
- моноплакофора, око 20 врста, искључиво марински бентички организми, од 170 до 6500 m дубине

- важни за разградњу отпадног материјала
- доприносе у огромној мери укупној производњи биомасе у животној средини
- на свим нивоима ланца исхране, од примарних потрошача до грабљиваца на врху пирамиде
- многе врсте се хране мекушцима, нпр. рибе, птице, сисари
- многи мекушци су домаћини паразитима и преносиоци болести који су релевантни за човека
- неки мекушци су и сами паразити
- без обзира на бројност, ретко се користе у еколошким, екохемијским и лабораторијским испитивањима за тестирања хемикалија
- разлози: дужи животног век од већине других бескичмењака...
- ...такође и високи трошкови одржавања популације здравих јединки
- једино важно поље употребе: биомониторинг

- коришћени у терестријалним, маринским и слатководним животним срединама
- за испитивање утицаја и квантификацију присуства супстанци
- пре свега гастроподи и двокапкасти мекушци, главноношци ретко
- остале четири класе нису коришћене
- канаринци годинама упозоравали рударе у угљенокопима у 19. веку на присуство метана
- мекушци исто тако коришћени дуго као индикатор за квалитет воде
- Ortmann (1909.) и Kolkwitz и Marsson (1909.) су описали утицај квалитета слатких вода на појављивање дагњи у њима у Северној Америци и Немачкој
- 1976. у САД отпочео “mussel watch”, један од првих великих програма праћења животне средине, заснован на понашању живих бића

- почело се на више од 100 места на северноамеричкој обали
- координисано и стандардизовано узорковање и обрада
- четири врсте: две врсте *Mytilus*, *Crassostrea virginica* и *Ostrea equestris*
- ткиво шкољки анализирано на присуство тешких метала, радионуклида, халогенованих и нафтних угљоводоника



- добијени значајни подаци за даља истраживања, пре свега о, условно говорећи, фонским вредностима
- слични програми почели касније и у другим приморским земљама
- дагње су, из више разлога, одлични биоиндикатори

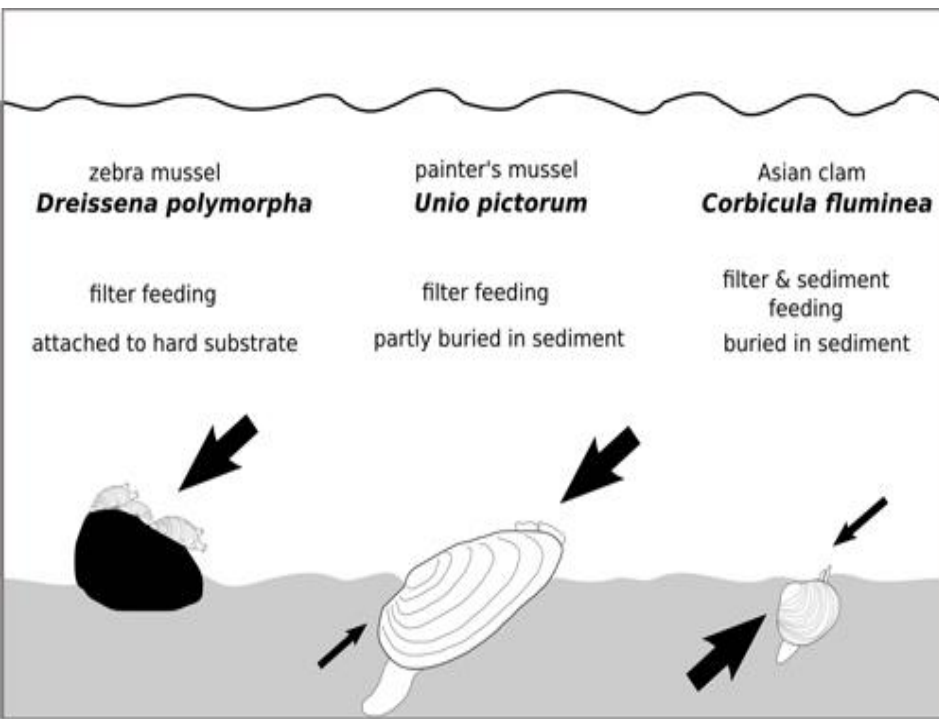
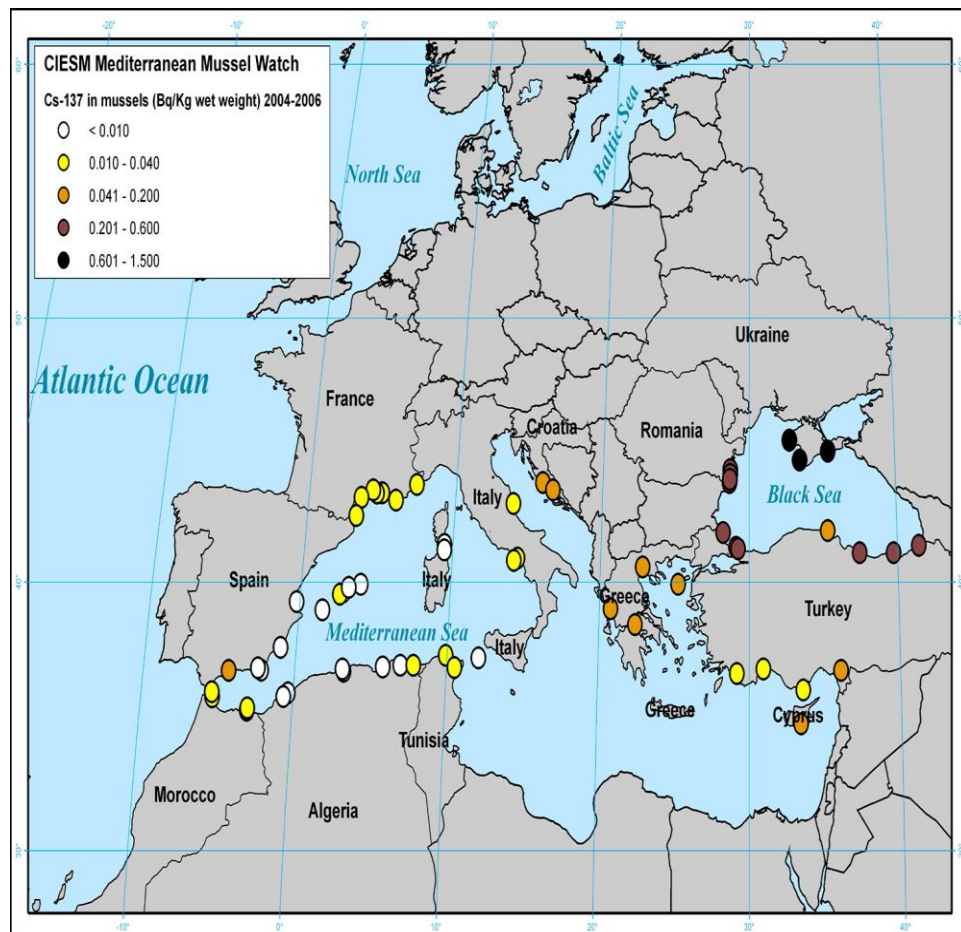


Figure 1: Habitats and feeding habits of different mussel taxa living in Britain. Included is the likely uptake route for heavy metals. Big arrows indicate the most likely route (water or sediment). Small arrows show minor exposure routes.



- део њихових добрих особина, поседују и друге врсте
- гастроподи и двокапасти мекушци су широко распрострањени, налазе се у свим слатко- и слановодним системима, гастроподи и у земљишту
- иако су неки гастроподи ендемске врсте, већина мекушаца, поготово акватичних, широко је распрострањена по континентима и по целом свету- лакше поређење резултата
- велики број мекушаца је веома важан за функционисање моринских, слатководних и терестријалних екосистема, ако загађивач утиче на мекушце, готово ће сигурно и на цео екосистем
- највећи број гастропода и двокапастих мекушаца је врло мало мобилан у одраслом стању- идеалан индикатор за свој животни простор (изузетак неки пужеви)
- већина акватичких мекушаца, поготово у тропским, суптропским и умереним крајевима је у облику ларви, сличних планктону