



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 52697

(13) C2

(51) 7 G01N33/18,C02F3/02

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД(54) СПОСІБ ОЦІНКИ НАВАНТАЖЕННЯ НА АКТИВНИЙ МУЛ АЕРОТЕНКІВ СПОРУД БІОЛОГІЧНОГО
ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД

1

2

(21) 99042285

(22) 22 04 1999

(24) 15 01 2003

(46) 15 01 2003, Бюл. № 1, 2003 р.

(72) Зайцева Ольга Василівна, Шаповал Людмила
Григорівна, Чернишов Сергій Іванович,
Мацківський Володимир Іванович, Жуков Віктор
Іванович(73) Акціонерне товариство "Науково-
технологічний інститут транскрипції, трансляції і
реплікації", Харківський Державний медичний
університет

(56) RU 2104967 C1, 20 02 98

RU 2014596 C1, 15 06 94

DE 04137905 A1, 19 05 93

DE 3221986 A1, 15 12 83

(57) Спосіб оцінки навантаження на активний мул
аеротенків споруд біологічної очистки стічних вод,
що включає періодичний контроль методом мікро-
скопіювання якості та кількісного складу мікро-
організмів зразка біоценозу активного мулу, взято-
го в зоні змішування зворотного активного мулу та
стічних вод, що подаються на вхід аеротенків
очисних споруд, по якому проводять дисперсійно-
факторний аналіз складу фауни найпростіших ак-
тивного мулу в залежності від навантаження
стічних вод на аеротенк, з одержанням п'яти уза-
гальнених факторів, які відбивають структурно-
функціональну організацію взаємозв'язків найп-

ростіших в біоценозі активного мулу, по яких роб-
лять висновки про його стан, при цьому в узагаль-
нений фактор входять представники домінуючих
організмів та їх взаємозв'язки один з одним, з ве-
личинами факторного навантаження більше 0,25,
а за перевагою одного з факторів, що виявляється
значенням більше 40% величини значимості фак-
тора, тобто процент ситуацій, що описується, який
впливає з розподілу факторних навантажень в
інформаційному просторі «ситуація - стан активно-
го мулу», оцінюють ступінь навантаження стічних
вод на активний мул, при цьому перевага першого
фактора відповідає нормальному стану активного
мулу при відсутності несприятливих впливів на
біоценоз активного мулу, перевага другого факто-
ра відбиває формування короткострокових захис-
них реакцій у біоценозі активного мулу, перевага
третього фактора відбиває специфічну регуляцію
функціонування біосистеми активного мулу в умо-
вах високого навантаження, перевага четвертого
фактора відбиває реалізацію залишкових можли-
востей регуляції функціонування активного мулу
на порозі її руйнування, а перевага п'ятого факто-
ра відбиває відмову всіх можливих регуляторних
механізмів при деградації активного мулу, і це вка-
зує на максимально можливе навантаження
стічних вод, які подаються на аеротенк біологічних
очисних споруд

Запропонований винахід відноситься до спо-
собів контролю стану активного мулу в системах
біологічного очищення стічних вод промислових
підприємств, комунального та сільського госпо-
дарства й може бути використаний, зокрема, при
формуванні токсикологічного регламенту очищен-
ня

Відомий спосіб оцінки впливу токсичного за-
бруднення на водянй біотвариства заснований на
урахуванні видового складу співтовариства во-
доймища, так звані методи біоіндикації. При цьому
видова різноманітність співтовариства розгля-
дається як міра його структури й усталеності [1]

Згідно способу роблять добір проби одним із
відомих способів у точці контролю й у точці
гідроекосистеми, де вона приймається за чисту
зону. Методом мікроскопіювання роблять
підрахунок організмів по групах гідробіонтів і по
обраній формулі математичного розрахунку одер-
жують необхідний показник стану гідробіоценозу,
як-от

індекс видової розмаїтості,
індекс сапробності,
параметр сапробної валентності,
коефіцієнт видового східства,
параметр токсобності

(13) C2

(11) 52697

(19) UA

За розміром того або іншого показника судять про стан підроекосистеми, по якому можливо оцінити антропогенне навантаження на підроекосистему

У цьому зв'язку необхідно конкретизувати поняття сапробності. У сантарній підбіології під сапробністю розуміється спроможність організмів жити при великому утриманні органічних речовин. Сапробність є функцією як потреб організму в органічному харчуванні, так і стійкості до отруйних речовин, що виникають при розкладанні органічних речовин H_2S , CO_2 , NH_3 , H^+ , органічні кислоти й ін. Тому, часто показник сапробності безпосередньо ототожнюють з рівнем забруднення водного об'єкта

Трудності в оцінці сапробності криються в тому, що сучасні поверхневі води забруднюються не тільки органічними речовинами тваринного й рослинного походження, але й одночасно багатою кількістю токсичних речовин: пестицидами, нафтою та її продуктами, важкими металами, детергентами та іншими

Ще більш проблематично використовувати критерій сапробності для оцінки стану активного мулу аеротенків біологічних очисних споруд, для яких даний метод практично не розроблено

Головним недоліком показаних методів є те, що існуючі критерії таксоності не відбивають у явному вигляді структурно-функціональну характеристику біосистем, що не дозволяє їх використовувати для оперативного контролю процесів біохімічного очищення. Крім того сама система сапробності необхідна тільки для кожної водної системи або для її частин. З урахуванням можливої адаптації багатьох організмів необхідно враховувати зміни сапробної валентності видів та перехід їх поміж категоріями шкал сапробності. Розмаїтість організмів, значна варіабельність кількісного складу організмів і не урахування їхніх трофічних зв'язків не дозволяє використовувати методи біоіндикації для оцінки цілісної структурно-функціональної організації біосистеми активного мулу

Відомі також і інші методи оцінки токсичного впливу за функціональними характеристиками біологічного тест-об'єкту [2], що називаються методами біотестування

Недоліками цих методів є те, що інформація, яка одержувана при біотестуванні неоднозначна, тому що різноманітні тест-функції характеризуються різноманітною чутливістю для того або іншого токсиканту. З іншого боку, спроби підбіологічного контролю процесу біологічного очищення з використанням індикаторних видів [3] не перспективні, тому що наявність тих або інших організмів дозволяє лише в самій загальній формі зробити висновок про гарну або погану роботу очисних споруджень [4]

У цьому зв'язку необхідна розробка спеціальних методів оцінки індикаторної ролі найпростіших, що потребує проведення екологічних та експериментальних досліджень з урахуванням специфічних умов існування активного мулу

Ряд досліджень, присвячених вивченню найпростіших в активному мулі, виконаний в Україні, країнах СНД і за рубежом [5-14]. Завдяки проведе-

ним дослідженням виявлений типовий склад фауни найпростіших в аеротенках деяких станцій аерації, склалося визначене уявлення про високу індикаторну значимість найпростіших як для визначення якості очищення стічної води, так і для контролю технологічного режиму роботи очисних споруджень

Найбільше близьким до запропонованого способу оцінки навантаження на активний мул аеротенків споруд біологічного очищення стічних вод, обраним у якості прототипу, є спосіб технологічного контролю роботи очисних споруд [3], відповідно до якого роблять добір проби активного мулу за допомогою ковша з аеротенку в заданому місці й проведення візуальної оцінки характеру активного мулу й кількісного урахування організмів у біоцинозі активного мулу методом мікроскопіювання. При візуальній оцінці в стакані або скляному циліндрі (обсяг 100мл) враховуються такі показники: швидкість усадання бавовни (швидко, повільно), колір (бурий, рудуватий, чорний, білястий і т.д.), характер води над осілим мулом (прозорий, каламутний, пофарбований, опалесцентний), запах (гнильний, сірководневий, характерний для визначених хімічних речовин), стан мулу, наприклад, спухання при відшаровуванні. При аналізі фізіологічного стану підбіотів активного мулу враховуються такі десять показників:

1 Переважні групи й види організмів біоцинозу, у тому числі індикаторні організми активного мулу. Тут необхідно відзначити, що вибір індикаторних організмів роблять на основі експертних (суб'єктивних) оцінок

2 Ступінь насиченості, ступінь прозорості цитоплазми

3 Стан скорочувальних вакуолей і швидкість їхньої пульсації

4 Форма тіла

5 Стан війчастого диску в прикріплених коловійкових інфузоріях (відчинити, зачинити)

6 Інтенсивність роботи війчастого апарату

7 Розмір організмів

8 Характер розмноження (розподіл, кон'югація і т.д.)

9 Наявність цист

10 Наявність загиблих найпростіших організмів

Кількісне урахування організмів активного мулу шляхом мікроскопіювання в рахункових камерах різноманітних систем, або методом "відкапіврованої краплі" роблять шляхом розрахунку за формулою

$$D = s \cdot d / \pi r^2 \cdot v, (1)$$

де, D - кількість досліджуваних організмів у 1мл рідини,

d - кількість організмів в одному полі зору (середнє арифметичне з числа переглянутих полів зору),

πr^2 - площа поля зору об'єктива, mm^2

S - площа покривного скла в mm^2 (18x18),

V - об'єм рідини, мм куб

Оцінка технологічного процесу очищення стічних вод за станом активного мулу проводиться на основі проведених досліджень із установленням ситуаційних градацій

мул переважаний, що супроводжується

попращенням ефективності очищення, помірковано навантажений мул (добре працюючий при наявності нестационарності навантаження),

мул при низьких навантаженнях, голодаючий мул

До хиб способу - прототипу оцінки навантаження на активний мул аеротенків споруджень біологічного очищення стічних вод варто віднести неможливість контролю структурно-функціональної організації активного мулу й проведення аналізу резервних можливостей активного мулу в залежності від навантаження на нього стічних вод,

суб'єктивізм оцінки, яку проводять за індикаторними організмами в незалежності від специфіки конкретних очисних споруд, і велика динамічна помилка аналізу, тому що виміри проводять у плінні тривалого часу,

трудомісткість і складність одержання результатів, тому що критерій оцінки передбачає використання статистичних методів аналізу

Ось чому в умовах нестационарних навантажень на активний мул відомий метод контролю не дозволяє проводити оперативний аналіз за структурно-функціональною організацією активного мулу, тим більше з установленням розміру усталеності й надійності функціонування біоценозу активного мулу аеротенків

В основу винаходу поставлена задача удосконалити спосіб оцінки навантаження на активний мул аеротенків у реальних умовах роботи споруд біологічного очищення стічних вод, у якому за рахунок здійснення дисперсійно-факторного аналізу складу фауни найпростіших активного мулу, отримують п'ять узагальнених факторів взаємодії найпростіших організмів, які відображають структурно-функціональну організацію біоценозу і дозволяють однозначно оцінити навантаження стічних вод на аеротенк і за рахунок цього підвищити об'єктивність оцінки стану активного мулу

Технічний результат, що може бути отриманий при здійсненні винаходу, полягає в тому, що з'являється можливість здійснити контроль структурно-функціональної організації біоценозу активного мулу через узагальнені фактори, що у свою чергу обумовлюють можливість оперативного регулювання технологічного процесу й регламенту очищення на конкретних спорудах

Для встановлення можливостей експрес-оцінки функціональної структури біоценозу активного мулу нижче буде розглянутий на конкретному прикладі аналіз структурно-функціональних взаємозв'язків елементів мікрофауни активного мулу очисних споруд хімічного підприємства

Поставлена задача вирішується за рахунок того, що у способі оцінки навантаження на активний мул аеротенків споруд біологічної очистки стічних вод, що включає періодичний контроль методом мікроскопіювання якості та кількісного складу мікроорганізмів зразка біоценозу активного мулу, взятого в зоні змішування зворотнього активного мулу та стічних вод, що подаються на вхід аеротенків очисних споруд, по якому, згідно з винаходом, проводять дисперсійно-факторний аналіз складу фауни найпростіших активного мулу в за-

лежності від навантаження стічних вод на аеротенк, з одержанням п'яти узагальнених факторів, які відбивають структурно-функціональну організацію взаємозв'язків найпростіших в біоценозі активного мулу, по яким роблять висновок про його стан, при цьому в узагальнений фактор входять представники домінуючих організмів та їх взаємозв'язки один з одним, з величинами факторного навантаження більш 0,25, а за перевагою одного з факторів, що виявляється значенням більш 40% величини значимості фактора, тобто процент ситуацій, що описується, який впливає з розподілу факторних навантажень в інформаційному просторі "ситуація - стан активного мулу", оцінюють ступінь навантаження стічних вод на активний мул, при цьому перевага першого фактора відповідає нормальному стану активного мулу при відсутності несприятливих впливів на біоценоз активного мулу, перевага другого фактору - відбиває формування короткострокових захисних реакцій у біоценозі активного мулу, перевага третього фактору - відбиває специфічну регуляцію функціонування біосистеми активного мулу в умовах високого навантаження, перевага четвертого фактору - відбиває реалізацію залишкових можливостей регуляції функціонування активного мулу на порозі її руйнування, а перевага п'ятого фактору - відбиває відмову всіх можливих регуляторних механізмів при деградації активного мулу, і це вказує на максимально можливе навантаження стічних вод, які подаються на аеротенк біологічних очисних споруд

Те, що в запропонованому винаході використані вищевказані ознаки, дозволяє досягти вирішення поставлених задач, тому що метод аналізу дисперсійно-факторного дослідження активного мулу раніше ніколи не використовувався. З огляду на те, що твердження подібного роду неочевидне, необхідно більш докладно зупинитися на методологічному аспекті подібних досліджень

Для встановлення можливостей експрес-оцінки функціональної структури біоценозу активного мулу нижче розглянутий аналіз структурно-функціональних взаємозв'язків елементів мікрофауни активного мулу очисних споруд хімічного підприємства

Суть запропонованого винаходу й методологічний аспект

Проблема контролю стану активного мулу в умовах нестационарності навантаження стічних вод на аеротенк очисних споруд у даний час у всьому світі актуальна. З огляду на те, що біохімічне очищення є одним із головних способів очищення міських і промислових стічних вод складного хімічного складу, дану проблему необхідно вирішувати з використанням методів системного й комплексного аналізів. Деструкцію органічних сполук здійснюють мікроорганізми активного мулу, що являє собою специфічну біосистему з біоценотичним рівнем організації. При цьому варто враховувати, що активний мул - це цілісна біосистема, компоненти якої пов'язані таким чином, щоб забезпечити оптимальний енергетичний, речовинний й інформаційний баланс системи [15] із реалізацією максимального рівня трансформації речовин та енергії. Це обумовлює

ряд істотних відмінностей даної екосистеми від екосистем природних водоймищ

Специфіка біосистеми визначається як складом стічних вод, що надходять на очищення, так і технологічними параметрами експлуатації очисних споруд. Стічні води підприємств багатьох видів промисловості характеризуються непостійністю складу, що призводить до нерівномірних навантажень на активний мул, що часто супроводжується ефектом токсичної дії на біоценоз активного мулу. Така ситуація призводить до порушення нормальної роботи очисних споруд, аж до повного припинення очищення внаслідок загибелі активного мулу. У цьому зв'язку виникає необхідність здійснення оперативного контролю токсичної дії стічних вод на активний мул.

Розуміючи, що будь-яка біологічна система надзвичайно складна, включає множину різноманітних підсистем і елементів із різноманітними рухливими зв'язками і функціями, що призводить до великої кількості можливих віртуальних, моментних станів у її структурно-функціональній організації, необхідно організувати процедуру морфологічного та функціонального опису. Цьому й присвячений запропонований спосіб оцінки навантаження на активний мул.

При зміні умов існування змінюється питома вага організмів-елементів біосистеми і характер їхніх взаємозв'язків таким чином, щоб реалізувався оптимальний для нових умов стан біосистеми. У результаті структурної і/або функціональної перебудови біосистема або виходить на старий стаціонарний рівень функціонування, або переходить на менш ефективні рівні в залежності від якісних і кількісних характеристик зовнішніх впливів.

У функціональному відношенні в біосистемі активного мулу важлива не тільки і не стільки функція окремих організмів, скільки їхні оптимальні взаємовідносини, що реалізуються, зокрема, через трофічні ланцюги. Адаптаційні властивості біосистеми в цілому забезпечуються її гетерогенністю, при цьому в стаціонарних умовах стан рівноваги, що досягається, має динамічний характер. Із загальних міркувань і на підставі власних експериментальних даних [16, 17] можна виділити три різноманітні фазові стани біосистеми: норма, стрес, відновлення ушкоджених елементів за рахунок резерву і два переходи між ними.

Для визначення взаємозв'язків між компонентами активного мулу і факторів, що визначають ці взаємозв'язки, можна використовувати факторний аналіз - метод прикладного статистичного аналізу, що добре зарекомендував себе при вирішенні аналогічних задач біомедичного і соціально-економічного утримання, для яких специфічна висока розмірність [18].

При проведенні факторного аналізу передбачається гіпотеза про наявність факторів, які визначають значення показників, що вимірюються стану біосистеми й обумовленого зв'язку між ними, причому кількість головних факторів априорі передбачається невідомим. У якості вихідних даних використовувалася матриця даних "об'єкти-показники", причому об'єктам відповідають спостереження, а показникам - чисельність організмів

у біоценозі активного мулу. За вихідними даними обчислювалися коефіцієнти кореляції між показниками

$$r_{jk} = \frac{\sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_j)(y_{ik} - \bar{y}_k)}{\sqrt{\sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_j)^2 \sum_{j=1}^n (y_{ik} - \bar{y}_k)^2}} \quad (1)$$

Передбачається, що між показниками, що вимірюються, і невідомими факторами є лінійний зв'язок

$$y_{ij} = \sum_{k=1}^k a_{ik} f_{kj} \quad (2)$$

де 1 - число факторів, k - число показників, a_{ik} - факторні навантаження, f_{kj} - 1-компонента j-го фактора.

Фактори, що виділяються фіксують закономірності, що властиві об'єктам, які входять до вихідної матриці даних Мірою, що дозволяє оцінити, наскільки істотною роль у системі відіграють виявлені закономірності, є частка варіабельності, яка описується виділеними факторами. Можна показати, що у випадку стандартизованої матриці даних, коли дисперсія кожного показника дорівнює 1, а середнє значення - 0, дисперсію показника можна представити у вигляді

$$\sigma_i^2 = \sum_{k=1}^k a_{ik}^2 + b_i + \epsilon_i \quad (3)$$

Сума квадратів факторних навантажень - це частка дисперсії показника, що описується факторами. Ця величина називається спільністю. Вона дорівнює квадрату коефіцієнта множинної кореляції між показниками і факторами. Такий розмір - b_i , називається специфічністю і характеризує частку варіабельності показника, яку не вдалося зв'язати з іншими показниками.

Таким чином, специфічність можна розглядати як міру інформативності показника у системі показників, що використовується. Нарешті, ϵ_i - це дисперсія, обумовлена помилкою. Зауважимо, що помилкою може бути як помилка виміру, так і припущення про однорідність об'єктів, у яких вимірювалися значення показників, тобто про однорідність вибірки.

Отже, як впливає зі сказаного раніше, величина спільності міститься в межах [0,1]. Якщо спільність близька до 0, це означає, що або відповідний показник практично не пов'язаний з іншими, або його значення виміряні з великою помилкою. У будь-якому випадку, виділені фактори не описують даний показник. Якщо ж спільність близька до 1, то виділені чинники описують велику частку варіабельності показника (який дорівнює розміру спільності). У тому випадку, коли у всіх показників спільності близькі до 1, вихідну систему показників можна замінити виділеними факторами, зберігши істотну частину інформації.

Другою важливою характеристикою отриманого факторного вирішення є простота факторної структури. Це означає, що є можливість виділяти

групи показників, велика частина дисперсії яких пов'язана з одним фактором. Тоді, факторні навантаження показників, що входять у групу відповідного чинника будуть за абсолютним розміром великі (для ортогональних факторів - близькі до 1), а навантаження інших показників - близькі до 0.

Таким чином, кожний показник навантажує якийсь фактор, а кожний фактор пов'язаний із групою показників, що визначають його інтерпретацію.

У якості вихідних оцінок спільностей показників використовувалися коефіцієнти множинної кореляції. Для визначення числа факторів застосовувалася комбінація Scree-тесту Кеттелла і тест Кайзера-Дикмана, при цьому враховувалася близькість одержуваної факторної структури до простої факторної структури. Для одержання простої факторної структури використовувалося косокутне обертання.

Практично для виконання факторного аналізу була використана програма A06M із пакета програм статистичного аналізу даних "Ангара", що входить до складу системи аналізу даних "Ангара-

СВМ" [19]. Розрахунок варіантів проводився на ЕОМ ЕС 1051, загальний час центрального процесора склав приблизно 6 хвилин.

Приклад реалізації запропонованого винаходу

На конкретних очисних спорудах хімічного підприємства м. Шебекино протягом трьох років був вивчений видовий і кількісний склад підробінтів активного мулу, при цьому ситуації на вході аеротенків відрізнялися як за навантаженням, так і за токсичністю стічних вод. Активний мул відбирали з аеротенку наприкінці зони змішування активного мулу стічною водою. Добір здійснювали пробовідбірником на глибині 1 метр. Час добору о 9 годині ранку. Пробу активного мулу аналізували в лабораторних умовах безпосередньо на очисних спорудах. Час аналізу не пізніше 1 години після добору проби. Адаптацію активного мулу до лабораторних умов проводили в умовах +20°C і аерації суміші. Кількісний і видовий склад визначали методом мікроскопіювання. Визначено і систематизовано, відповідно до класифікації [3] більше 40 видів організмів мікрофауни біоценозу активного мулу, що подані в таблиці 1.

Таблиця 1

тип	PROTOZOA										METAZOA			
	SARCOMASTIGOPHORA				CILIOPHORA						NEMATHELMINTES			ANNELIDA
под тип	Mastigophora		Sarcodina		Ciliata				Suctoria	Rotifera		Nematodes	Oligochaeta	
клас	Phytomastigophora	Zoomastigophora	Lobozoa		Filozoa	Kinetophragminophora	Oligohymenophora	Peritricha	Polyhymenophora					
отряд	Euglenida	Kinetoplastida	Amoebozoa	Archezoa	Gro-mida	Pterostomatida	Hymenostomatida	Sessilida	Hypochida	Suctorida	Floumida	Bdelloida		
род	Pernema	Bodo	Amoeba	Archeila	Euglypha	Litonotus	Colpidium	Epistytis	Oxytricha	Podophrya	Euchlanis	Philodina	Nematodes	Aelosoma
	P trichophorum	B sal-tans	A proteus	A vulgaris	E lae-vis	L la-mella	C col-poda	E ur-ceolata	O fallax	P fixa	E dila-tata	P vo-rax	N mon-hyster	A he-mpri-chi
				A de-tata			Tetra-hymena	Oper-cularia	Stylonychia	Rhabdophry	No-tom-mata	Rota-ria		
				A dis-coi-des			T py-riphormis	O micro-discum	St Put-rina	R sp	N cyr-topus	R ro-tatoria		
				Cent-ropyxis				Vor-ticellal	Aspi-disca	Acinet-a	Dicraniphorus	R tar-di-grada		
				C aculeata				V co-nvalaria	A cos-tata	A gra-n-dis	D lon-gidacty	R ne-ptunia		
				C sp				V alba		A fosti-da	D grandi-s			
				C plagios-toma				V micro-stoma		Toco-phrya	Под Lecane			

								Carchesium		T mollis	L (M) arcuata			
								C bettorligiense			L (M) lunaris			
								Vagenicola			L inermis			
								V crustallina			Brachionus			
								Thyricola			B calyciflorus			
								T similis						

Мікрофауна активного мулу подана найпростішими, серед яких переважають черепашкові амеби й інфузорії, а також багатоклітинними, у головному, коловертками. При цьому постійно присутні в біоценозі активного мулу представники 11-20 родів. Проте, необхідно відзначити, що в залежності від умов функціонування очисних споруджень видовий і чисельний склад може істотно змінюватися, що, у свою чергу, ускладнює інтерпретацію оцінки стану біоценозу активного мулу.

Беручи до уваги різноманітність видів, із метою спрощення розгляду та побудови узагальнених факторів, надалі враховувалася тільки погодова

градація ознак. При цьому ми усвідомлюємо, що таке спрощення припускає можливість деякої неоднозначності в трактуванні ознак.

В таблиці 2 наведено дані кількісного обліку основних родів мікрофауни активного мулу очисних споруд хімічного підприємства м. Шебекино. Як видно з наведених результатів, чисельність організмів активного мулу варіює в широкому діапазоні значень. Це пов'язано з динамічністю умов існування активного мулу в промислових аэротенках і нестационарністю навантаження стічних вод.

Таблиця 2

Первинне статистичне опрацювання даних кількісного
урахування організмів мікрофауни активного мулу аэротенків очисних споруд ШХЗ

Код	Найменування роду	Середнє, М тис. екз./г	Дисперсія, σ^2	Варіабельність, CV, %
X1	Arcella	40.00	71.17	1.78
X2	Centropyxis	81.95	108.17	1.30
X3	Diffugia	489.19	615.45	1.26
X4	Amoeba	1.20	5.10	4.31
X5	Vorticella	16.20	25.61	1.58
X6	Opercularia	2.60	13.76	5.29
X7	Carchesium	100.34	266.40	2.66
X8	Epistylis	71.84	218.15	3.04
X9	Thyricola	4.96	16.76	3.38
X10	Tetrahymena	51.73	133.88	2.59
X11	Aspidisca	27.56	52.85	1.92
X12	Oxytricha	0.78	6.78	8.69
X13	Peranema	3.28	6.54	2.01
X14	Litonotus	15.13	27.64	1.83
X15	Hemiophris	0.78	3.46	4.44
X16	Lecane	3.95	10.24	2.59
X17	Rotaria	4.23	6.46	1.53
X18	Notommata	10.47	18.60	1.78
X19	Dicranoforus	4.45	8.62	1.94
X20	Brachionus	3.38	5.95	1.81
X21	Euchlanis	20.93	30.52	1.46
X22	Philodina	36.65	120.79	3.30
X23	Nematoda	1.87	7.09	3.77
X24	Tocophrya	0.45	2.54	5.64
X25	Bodo	3.63	21.24	5.85
X26	Вхід	2006.42	1044.32	0.52
X27	Вихід	403.96	625.56	1.55

З огляду на те, що в біоценозі мулу всі організми пов'язані між собою численними причинно-наслідковими зв'язками, проведений коре-

ляційний аналіз (масив даних різноманітних ситуацій - 126) для виявлення взаємозалежності між підробіонтами на погодовому рівні. На фігурі 1

приведена структура простих кореляційних зв'язків (достовірність оцінена за критерієм Стюдента для рівня значимості $P < 0.01$) [20]

Кореляційний аналіз дозволив виявити 34 значимого позитивних зв'язку між 18 родами, при цьому окремі роди мають по 5 і більш зв'язків. Це практично виключає можливість інтегрувати

таким способом функціональні залежності між родами для оцінки ситуації в аеротенку. У цьому зв'язку нами проведений факторний аналіз, суть якого була розглянута вище. Установлені 5 узагальнених факторів, характеристики яких приведені в таблиці 3.

Таблиця 3

Характеристика узагальнених факторів

Фактор	Значимість фактора ситуацій, процент, що описуються	Число типу мікрофауни	Число родів	Число взаємозв'язків	Число простих навантажень (тест Баргмана)
1	13	3	11	11	5
2	8	3	7	7	5
3	7	3	5	0	8
4	6	2	5	5	12
5	6	1	3	0	5

З даної таблиці випливає, що всі отримані фактори істотно різноманітні. При цьому необхідно відзначити, що ці фактори далеко не повною мірою описують усі ситуації з аналізованого масиву даних (у сумі 40%). Це пов'язано з тим, що вихідна інформація сильно "зацумплена". Число простих навантажень відбиває кількість ознак, що входять у фактор, але мають навантаження $a_{ij}^2 < 0.1$ (тест Баргмана).

Особливістю виявлених факторів є відсутність достовірної взаємної кореляції, із чого випливає їхня ортогональність. Цей факт можна продемонструвати графічно.

Зокрема, на фігурах 2,3 і 4 приведені діаграми факторних навантажень, із яких випливає, що перемінні можна упорядковувати таким чином, щоб виділити групи ознак, що навантажують переважно один фактор. На фігурі 5 поданий розподіл факторних навантажень у просторі "Ситуація - стан активного мулу", із якого очевидно, що всі фактори істотно незалежні і можуть бути використані для опису діагностичного стану.

Виходячи з того, що такі незалежні групи ознак отримані для всіх п'ятих факторів, нами зроблена спроба додати кожному фактору конкретний біологічний зміст. При цьому до складу узагальнених факторів входять й ураховуються тільки представники домінуючих організмів та їх взаємні зв'язки один з одним, тобто з величинами їх факторних навантажень в межах від 0.25 до 1.00. Це дозволяє більш чітко й об'єктивно уявити собі біологічний зміст й значення кожного узагальненого фактору. У цьому зв'язку з метою інтерпретації чинників були побудовані графі для кожного чинника.

Перший фактор (фіг 6) характеризується найбільшою таксономічною розмаїттю і складною структурою кореляційних зв'язків між окремими елементами (родами). Для кожного елемента на малюнку показано факторне навантаження, причому слід зазначити наявність елементів як із позитивними, так і з негативними навантаженнями. Для першого фактора характерні помірковані зв'язки (64%) і слабкі (36%). Сильні зв'язки відсутні.

Відомо, що значна видова розмаїтість

біоценозу активного мулу характерно для мулу, що працює в оптимальних умовах [21]. В аналізованій вибірці такі ситуації мали місце, тому даний фактор може відбивати регуляцію біосистеми при нормальному функціонуванні активного мулу.

Другий фактор (фіг 7) істотно відрізняється від першого значним спрощенням структури, як від зменшення кількості складових елементів і зв'язків між ними. Проте, при цьому відбувається якісна зміна зв'язків: з'являється значна кількість сильних зв'язків (43%) при помітному зменшенні поміркованих зв'язків (14%). Слабкі зв'язки складають 43%. Необхідно відзначити, що практично всі елементи взаємозалежні, тобто спостерігається жорстко зарегульована система, що може свідчити про збільшення її усталеності. Тому даний фактор може відбивати регуляцію біосистеми при реалізації захисних механізмів шляхом умикання короткострокового резерву, що характерно для стану стресу [22].

Третій фактор (фіг 8) характеризується повною відсутністю кореляційних зв'язків між елементами при малій їхній чисельності. Така структура фактора дозволяє припустити, що він відбиває регуляторні механізми перебудови біоценозу активного мулу при реалізації максимальної альтернативи пошуку компенсаторних можливостей у несприятливих умовах функціонування.

При аналізі структури четвертого фактора (фіг 9) звертає на себе увагу наявність двох сильних зв'язків (100%) при спрощенні таксономічної організації біосистеми. Це дозволяє припустити, що даний фактор відбиває реалізацію залишкових можливостей регулювання функціонального стану, спрямованого на стабілізацію біосистеми.

У структурі п'ятого фактора (фіг 10) спостерігаються представники тільки одного типу організмів - інфузорії. Кількість елементів мало, зв'язки відсутні. Найбільше значимий внесок у цей фактор вносять зовнішні параметри функціонування активного мулу - концентрація речовин у стічній воді на вході і виході аеротенків. Це дозволяє підтверджувати, що даний фактор відбиває відмову регуляторних механізмів біосис-

теми, що характерно при повній деградації біоценозу активного мулу

Перевага того, або іншого узагальненого фактору в інформаційному просторі "ситуація-стан активного мулу" оцінюється по величині значимості фактора, тобто по проценту ситуацій, що описується цим фактором. При цьому при величинах значень факторів в межах від 40% до 100% роблять висновок про перевагу вказаного фактору.

Оскільки в літературі не обговорювалися процеси регуляції в біосистемах типу "активний мул" зупинимося на запропонованій схемі оцінки реакції активного мулу на зовнішній вплив різноманітної інтенсивності.

У нормальному стані при відсутності несприятливих впливів система активного мулу характеризується значною видовою розмаїтістю і різноманітністю зв'язків. Це забезпечує регуляцію функціонування активного мулу в широкому діапазоні зміни зовнішніх умов, що виявляється в аккомодационних властивостях біосистеми. Останнє, у свою чергу, дозволяє здійснювати тонке підстроювання механізмів функціонування і забезпечення цільової функції біоценозу активного мулу аеротенків у межах норми реакції (описується першим фактором).

При збільшенні інтенсивності зовнішнього впливу в системі активного мулу формуються короткострокові захисні реакції шляхом зменшення числа альтернативних шляхів регуляції і посилення головних регуляторних зв'язків, що забезпечують збільшення енергообміну в біосистемі. При цьому зменшується параметрична чутливість і зменшується варіабельність параметрів функціонування в системі, з одночасним підвищенням усталеності біоценозу активного мулу. По суті усталеність звичайно розглядають як близькість до норми визначених характеристик системи в умовах зовнішніх навантажень [23]. Одним із можливих шляхів формування стану стресу в активному мулі рекомендується зменшення кількості елементів за рахунок тих, що не відіграють головної ролі у виконанні цільової функції очищення (описується другим фактором).

Подальше підвищення рівня впливу на активний мул призводить до необхідності структурної перебудови біосистеми внаслідок масової загибелі організмів, що призводить до зникнення частини таксономічних одиниць і звільненню, в такий спосіб, екологічних ніш. У цьому зв'язку наявність третього фактора можна пояснити тією обставиною, що при масовій загибелі організмів виникають, зокрема, сприятливі умови для зростання чисельності некрофагів, діяльність яких підготує умови для звільнення екологічних ніш від загиблих організмів із наступним їхнім заповненням.

Відомо, що при несприятливих умовах на фоні масової загибелі організмів в активному мулі спостерігається спалах розмноження окремих видів [3], наприклад, жгутикових, що заповнюють екологічні ніші, що звільнилися. Кількість таксономічних груп (елементів біосистеми) при цьому обмежена, а регулювання здійснюється за нечисленним, але "жорстким" зв'язкам. Необхідно відзначити, що в даному випадку стабілізація систе-

ми може бути пов'язана з підвищеною варіабельністю параметрів активного мулу, що виявляється внаслідок спрощення структури біоценозу активного мулу. Тому четвертому фактору надається зміст відбитку реалізації залишкових можливостей регуляції, що дозволяють стабілізувати (короткочасно) систему на порозі її руйнації.

При деградації біосистеми активного мулу відбувається відмова регуляторних механізмів, що і відбиває п'ятий фактор. Обернений перехід у процесі відновлення системи після зняття впливу, що ушкоджує, тривалий саме через те, що порушені всі регуляторні механізми.

Таким чином, зміна видового і кількісного складу мікрофауни активного мулу може служити об'єктивним критерієм оцінки стану біоценозу активного мулу в процесі очищення стічних вод. Проте, для оцінки токсичного впливу на процес біохімічного очищення необхідно одержати кількісний критерій, що одночасно відбивав би як структурні, так і функціональні зміни біоценозу активного мулу. Таким критерієм може служити показник надійності функціонування біосистеми.

Запропонований спосіб оцінки навантаження на активний мул аеротенків споруд біологічного очищення стічних вод може бути реалізовано в лабораторії очисних споруджень фахівцем - мікробіологом або альгологом (лаборантом). Тривалість аналізу однієї проби активного мулу біля 1,5 години (кількісне урахування, намір із використанням ПЕВМ і аналіз результатів), тобто його можна зарахувати до експрес-способів контролю технологічного процесу очищення стічних вод на реальних очисних спорудах.

Використання запропонованого способу найбільш ефективно в технології біохімічного очищення, токсикології й екологічного моніторингу. У даний час спосіб забезпечений технічними засобами, програмним і методичним забезпеченням.

Використання запропонованого способу в порівнянні з існуючими способами має такі переваги:

- 1 Об'єктивність і точність аналізу структурно-функціональної організації біоценозу активного мулу з отриманням п'яти узагальнених факторів стану за якими можливо оцінювати навантаження стічних вод на активний мул;

- 2 Універсальність;

- 3 Низькі трудозатрати на проведення аналізу стану активного мулу з погляду оцінки його резервних можливостей для функціонування;

- 4 Економічність за рахунок малої витрати біологічного об'єкта і хімічних реактивів (а також енерговитрат).

Джерела інформації

Филленко О.Ф. Водная токсикология - М. МГУ, 1988 - 154с, - С 94-97

2 Методы биотестирования вод / Под ред А.Н. Крайнюковой и др. - Черноголовка, 1988 - 127с

3 Фауна аэротенков. Атлас / Под ред Л.А. Кутиковой - Л. Наука, 1984 - 264с, - С 12-31

4 Колабина М.М. Применение биологического метода для оценки работы очистных сооружений - В кн. Материалы по очистке вод консервной промышленности - М., 1930 - С 65-100

5 Голубовская Э Н Биологические основы очистки воды - М Высшая школа, 1978 -271с

6 Истомина Л П, Кириченко А Г, Ракитин Е Г О видовом составе простейших и водорослей активного ила сточной воды, очищенной в аэротенках // Гидробиол ж -1973 -Т 96 -№5 -С 75-78

7 Липеровская Е С Опыт применения гидробиологического метода для контроля за работой аэротенка // Бюл МОИП, отд-ние биол, 1962 - Т 67 - №6 - С 133-134

8 Липеровская Е С Гидробиологические индикаторы состояния активного ила и их роль в биологической очистке сточных вод // Итоги науки и техники ВИНТИ АН СССР Общая экология Биоценология Гидробиология - М, 1977 - Т 4 - С 169-217

9 Липеровская Е С Гидробиологический анализ активного ила - В кн Методики технологического контроля работы очистных сооружений городской канализации, -М, 1977 -С 201-215

10 Липеровская Е С, Исаева Л А, Лагунова О Е Индикаторные организмы активного ила на сооружениях биологической очистки - В кн Самоочищение и биоиндикация загрязнения сточных вод - М МГУ, 1980 - С 149-154

11 Микитина О Г, Семенова Г Я, Чибисова О Н Новый вид раковидной амебы и ее использование в биоиндикации процесса очистки сточных вод // Докл высш школы Биол науки, 1981 - №7 - С 81-83

12 Микитина О Г Характеристика гидробиологического населения активного ила, работающего на полную нитрификацию - В кн Совершенствование процессов очистки природных и сточных вод - М, 1979 - С 96-100

13 Микитина О Г, Свешников В Н К методике подсчета гидробионтов активного ила // Жил и коммун, хоз-во, 1976 - №8, - С 35

14 Носов В Н, Микитина О Г, Максимов В Н

Некоторые особенности изменения биологической структуры активного ила //Биол науки, м, 1981 - №8 - С 84-87

15 Методы математической биологии Книга 1 Общие методы анализа биологических систем /

16 Поликарпов Г Г, Мацкинский В И Нахождение параметров надежности экосистемы при антропогенном воздействии - В сб тез докл пленарных лекций и симпозиумных заседаний и Всесоюз биофизического съезда - М, 1982 - С 128

17 Мацкинский В И Экспериментально - методическое исследование действия загрязнителей на гидробионты для разработки контроля качества водной среды Дисс на соиск уч степени канд б наук - М МГУ, 1985 -167с

18 Берла К Факторный анализ - М Статистика, 1980 - 398с

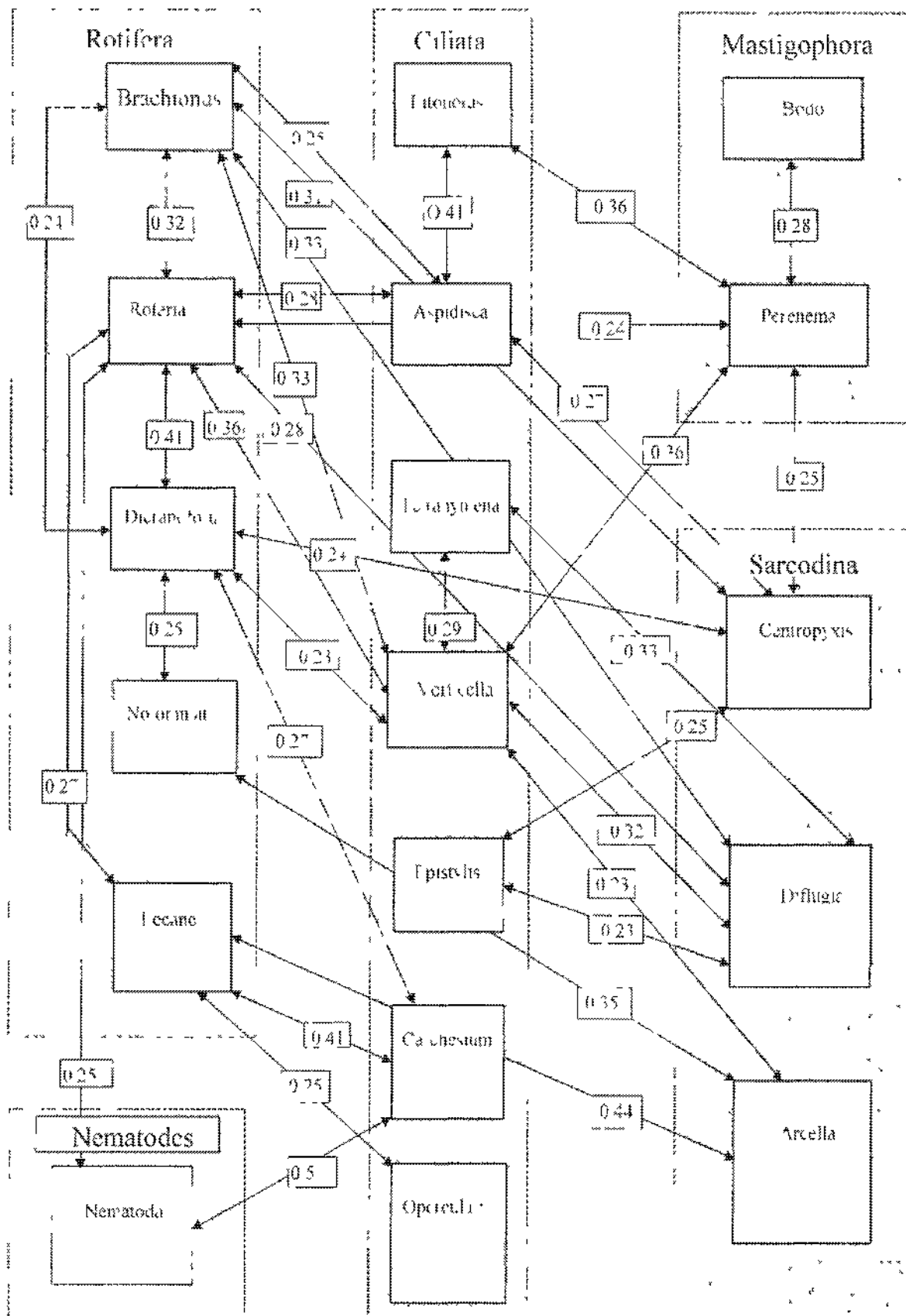
19 Корнелюк В А, Кузьменко А С, Резниченко В Ю Пакеты прикладных программ для экологического мониторинга - М ЦНИАтоминформ, 1984 - 70с

20 Лакин Г Ф Биометрия Учеб пособие для биол спец вузов - М Высш шк, 1990 - 352с

21 Мамаева Н В Изменение состава и численности организмов активного ила в зависимости от условий очистки сточных вод - В кн Простейшие активного ила -Л, 1983 -С 125-129

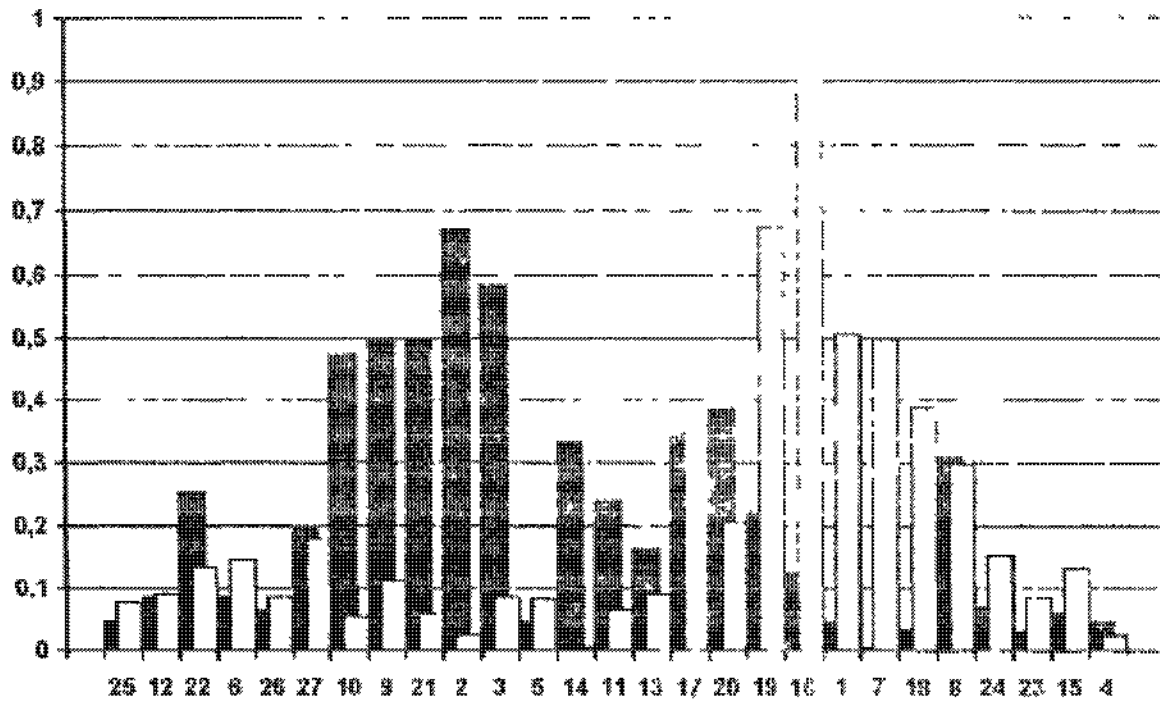
22 Веселовский В А Структурно-функциональные изменения мембранной клетки при адаптации к повреждающим воздействиям Дисс на соиск уч степени д биол наук - М МГУ, 1990 - 46с

23 Леви А П Понятие устойчивости в биологии Математические аспекты - В кн Человек и биосфера - М МГУ, 1976 - Вып 1 - С 138-173 Под ред Н Н Любимова - Киев Вища школа, 1980 - 240с



Розподіл факторних навантажень в просторі
«ситуація - стан активного муну»

Факторне
навантаження



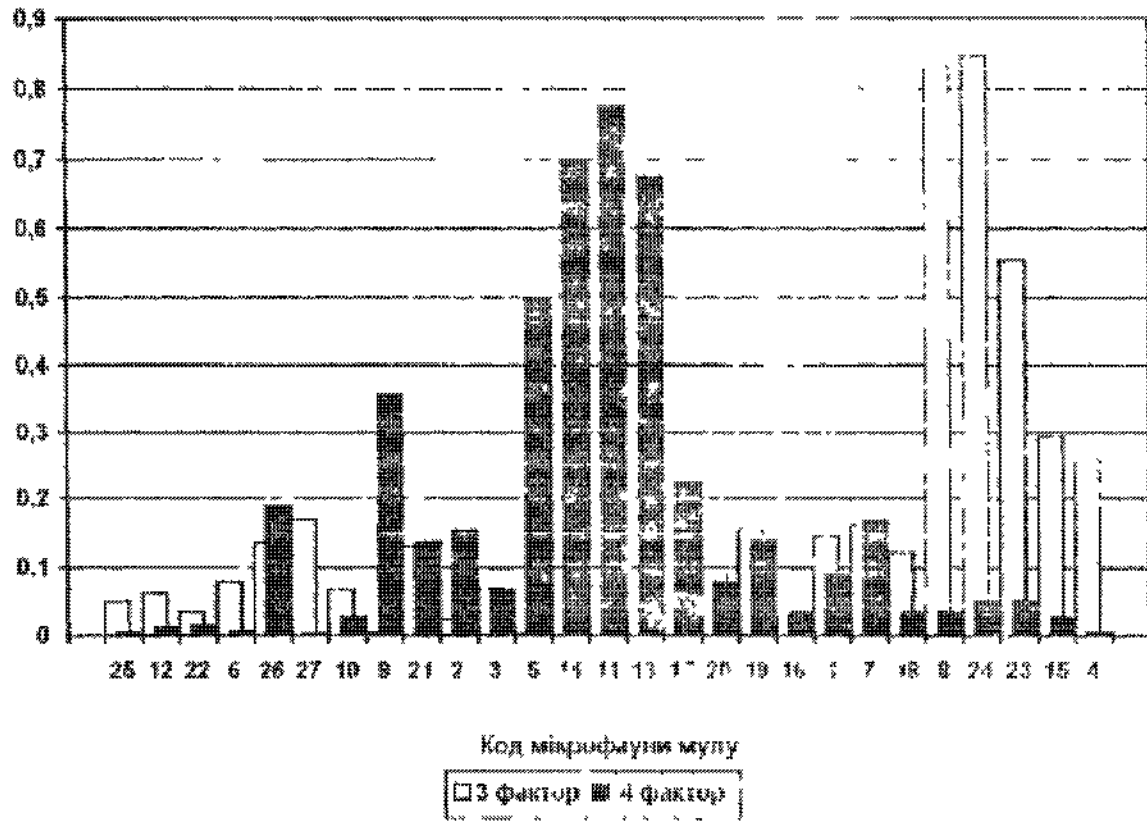
Код мікрофауни муну

■ 1 фактор □ 2 фактор

Фп.2

Розподіл факторних навантажень в просторі «ситуація - стан активного мулу»

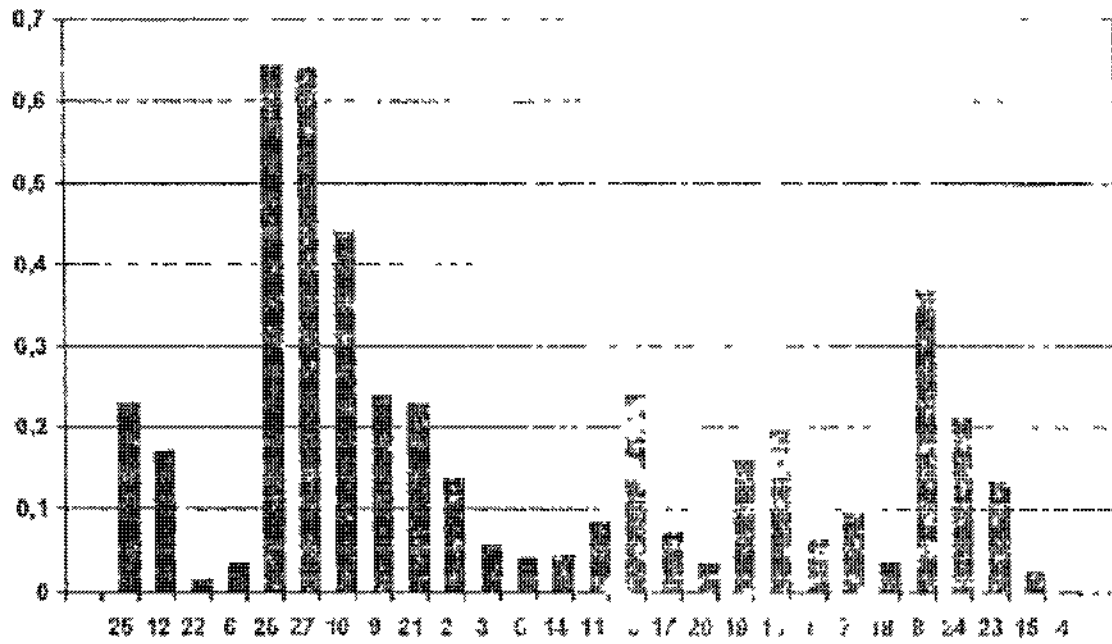
Факторне
навантаження



СДП 2

Розподіл факторних навантажень в просторі
«ситуація - ставлення до муш»

Факторне
навантаження

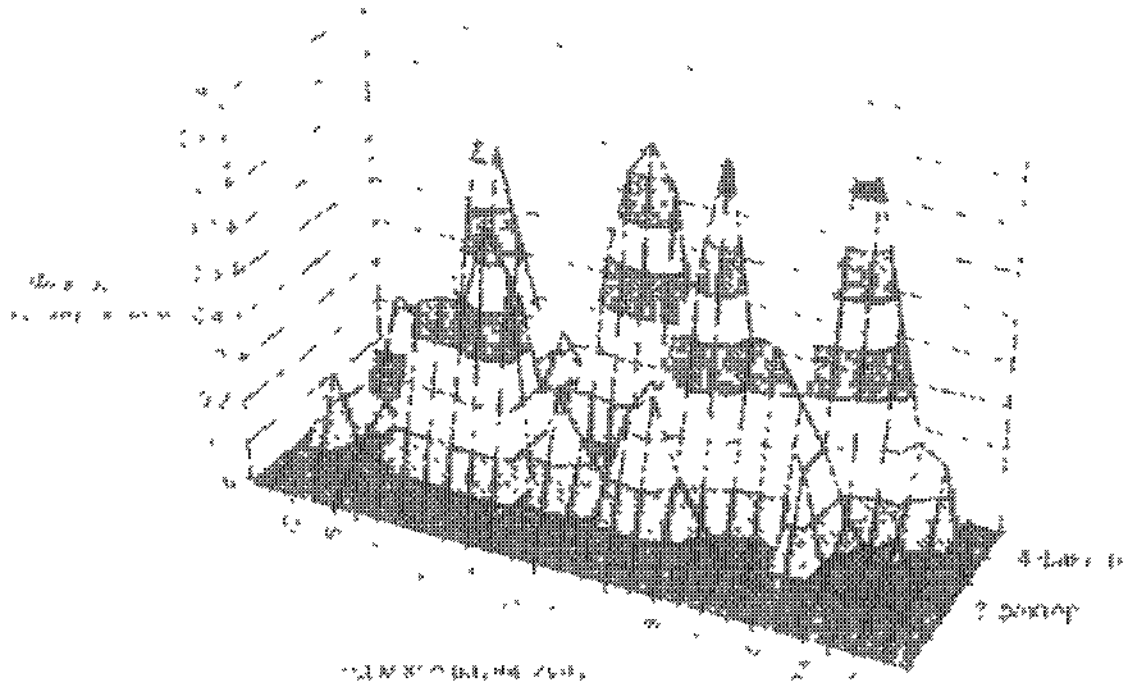


Код микроформы

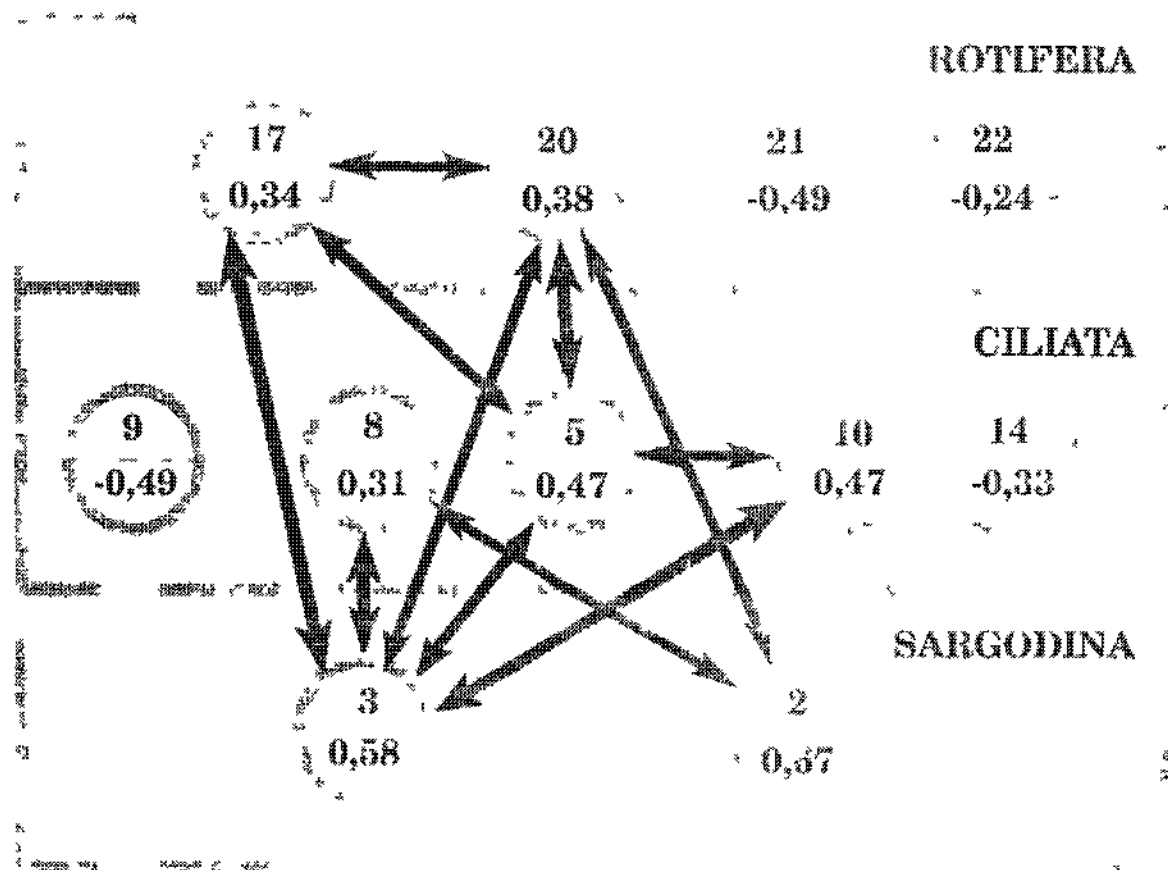
Фактор

Фиг. 4

THEY WERE THE FIRST TO BE BUILT IN THE
 CITY OF NEW YORK IN THE YEAR 1800



THEY WERE THE FIRST TO BE BUILT IN THE
 CITY OF NEW YORK IN THE YEAR 1800



2 - Centropyxis

3 - Difflugia

5 - Vorticella

8 - Lpistylis

9 - Thaumocella

10 - Tetrahymena

14 - L. donovani

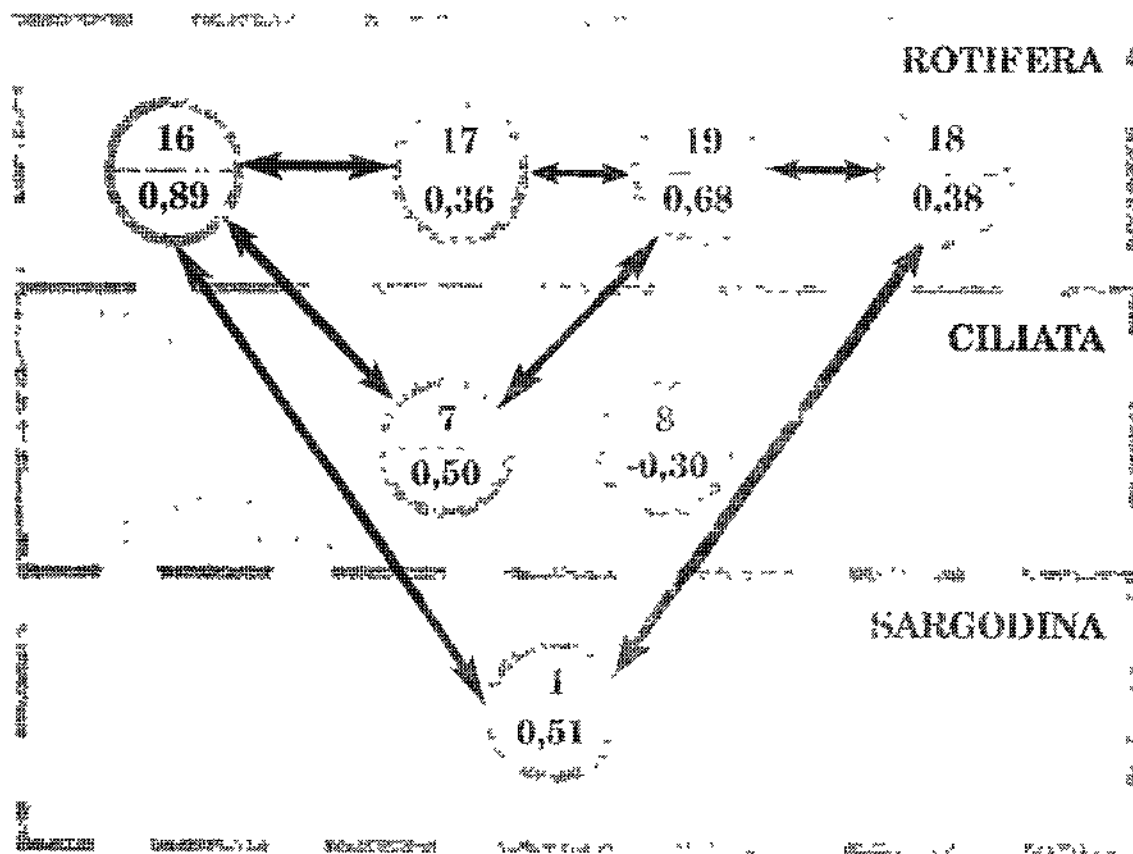
17 - Rotaria

20 - Brachionus

21 - Eubryopsis

22 - Philodina

Фиг. 6



1 - Arcella

8 - Ispistylis

17 - Rotane

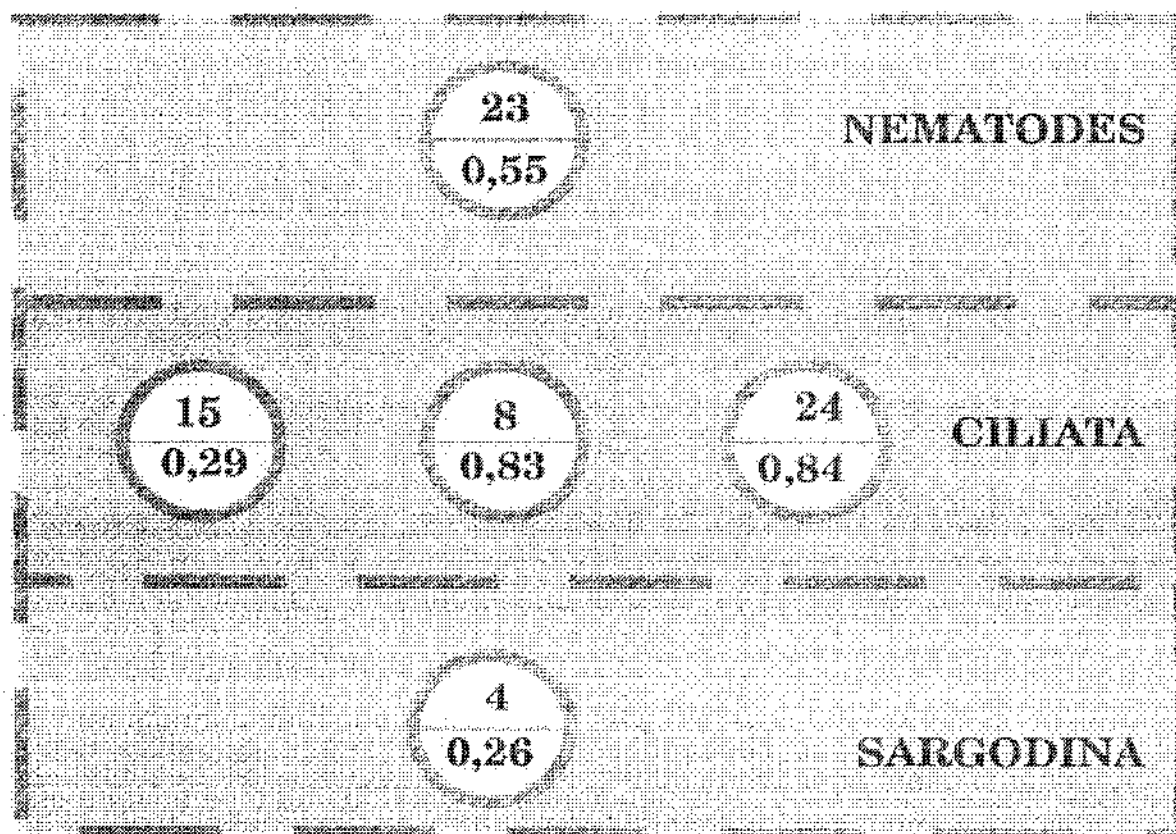
7 - Carchesium

16 - Lecane

18 - Notommata

19 - Dicranoforus

(p) 7

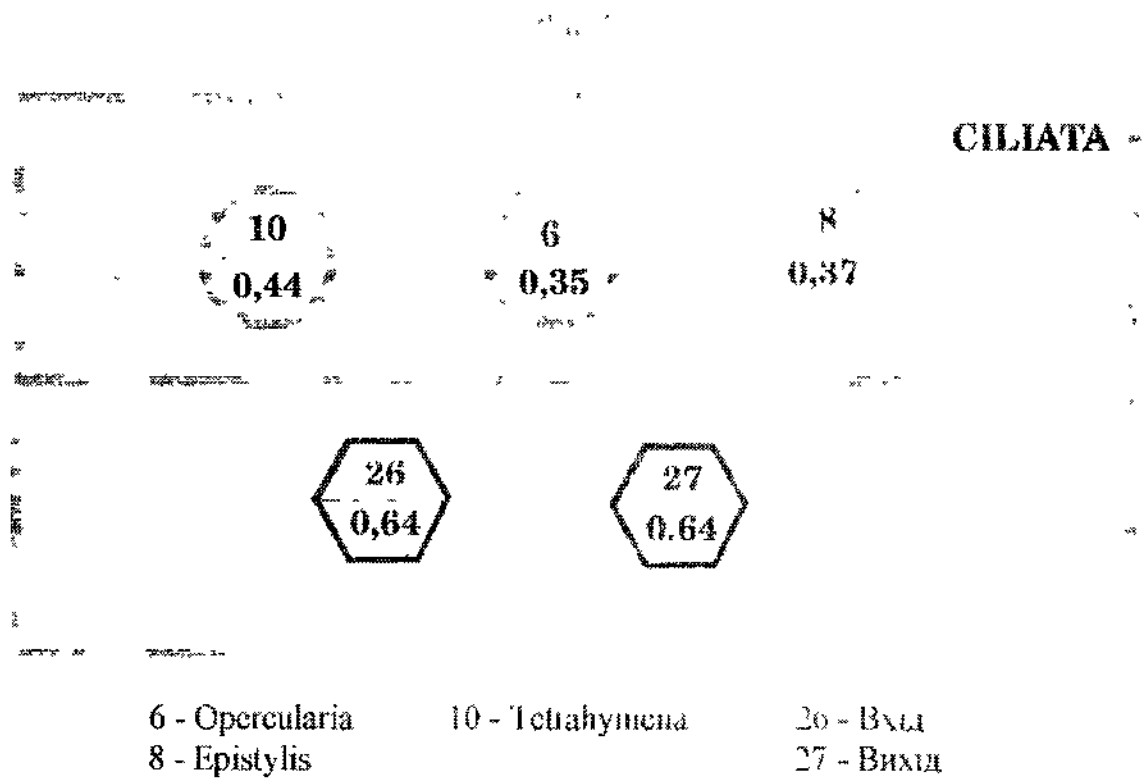
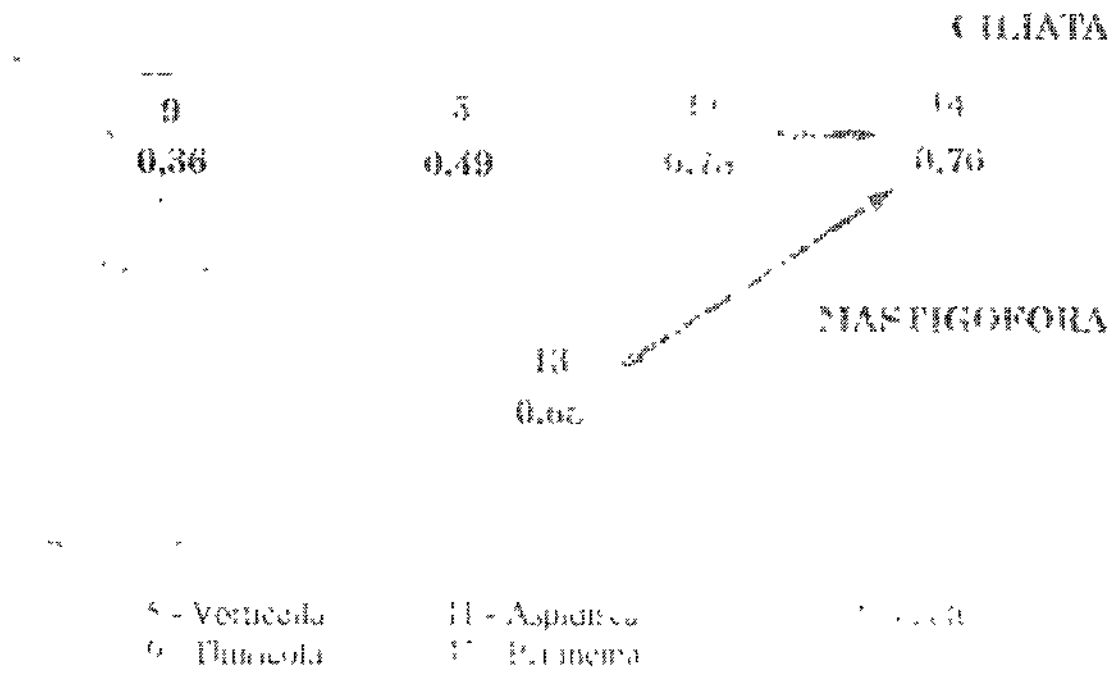


4 - Amoeba
8 - Epistilis

15 - Hemiophris
23 - Nematoda

24 - Tokephrya

Фиг. 8



Фін 10