

УДК 577.472(28)+577.475+628.394+519.24/27

ГИДРОБИОЛОГИЯ

С. В. КРЕНЕВА

ИНТЕГРАЛЬНЫЕ КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ МЕТОДЫ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ИНДИКАЦИИ ЗАГРЯЗНЕННЫХ ВОД В УСЛОВИЯХ БОЛЬШОГО ОЛИГОТРОФНОГО ВОДОЕМА

(Представлено академиком С. В. Калесником 10 III 1976)

Применение общеизвестного метода биологической индикации загрязненных вод (метод сапробных индикаторов) в условиях больших олиготрофных водоемов существенно ограничено вследствие интенсивного разбавления стоков. Для таких условий более эффективны два метода, испытанные автором в процессе исследований по проблеме индикации сапробных вод на Ладожском озере, именно: 1) метод интегрального количественного показателя и 2) один из алгоритмов распознавания образов⁽¹⁾. Оба метода предполагают использование биологических, гидрохимических и гидрофизических компонент *.

Для отработки обоих методов в зависимости от динамики и взаимодействия сточных вод с озерными исследования проводились в районах разного типа: шхеры, губы и открытая глубоководная часть озера. Такой подход позволил определить методы обработки получаемой информации в зависимости от условий, характерных для конкретного района.

В шхерных районах (в условиях значительной изоляции от влияния открытого озера) распределение микрозоопланктона в зависимости от загрязнения вод находится в соответствии с закономерностями, описанными Хайнсом⁽²⁾ для однонаправленных потоков. Установление зон с различной степенью сапробности по Вайплу⁽³⁾ не представляет сложности. Выделение зон в этих условиях может быть выполнено на основе определения состава и распределения численности микрозоопланктона.

У берегов открытого озера происходит интенсивное разбавление стоков под влиянием сложной системы течений. Зоны повышенной трофности здесь не имеют таких ярко выраженных всплесков численности видов, какие наблюдаются в шхерных районах, а принимают вид слабо выраженных и изменчивых по форме фронтов эвтрофикации (повышенной продуктивности одной или нескольких популяций). Для оконтуривания соответствующих зон в этих условиях был применен статистический метод построения модельной системы загрязнения с использованием гидрофизических и гидрохимических данных. С этой целью был введен интегральный показатель степени загрязненности вод, выраженный следующей формулой

$$I_i = \prod_{j=1}^{j=\bar{m}} x_{ij}^{+} / \prod_{j=1}^{j=n} x_{ij}^{-},$$

где x_{ij}^{+} — показатель, увеличивающийся с увеличением загрязнения; x_{ij}^{-} — показатель, уменьшающийся с увеличением загрязнения; i — номер станции; j — номер фактора; $\bar{m}$ — число факторов, возрастающих с увеличе-

* Исследование было выполнено в 1973–1975 гг. под руководством проф. И. И. Николаева. Полевые работы и часть камеральных работ выполнены в составе Ладожско-Онежской экспедиции проф. Н. А. Лабзовского (Институт озераедения АН СССР).

нием загрязнения; $n=j-\bar{m}$ — число факторов, уменьшающихся с увеличением загрязнения.

Смысл предлагаемого индекса обусловлен взаимодействием загрязненных и чистых вод и является показателем, характеризующим степень разбавления и процесс биологического преобразования сточных вод. И числитель, и знаменатель однозначно влияют на величину индекса с увеличением или уменьшением загрязненности вод, что делает его более чувствительным к этим изменениям.

В индекс могут входить самые разные показатели, так или иначе регистрирующие загрязнение и имеющие фоновые значения, отличные от

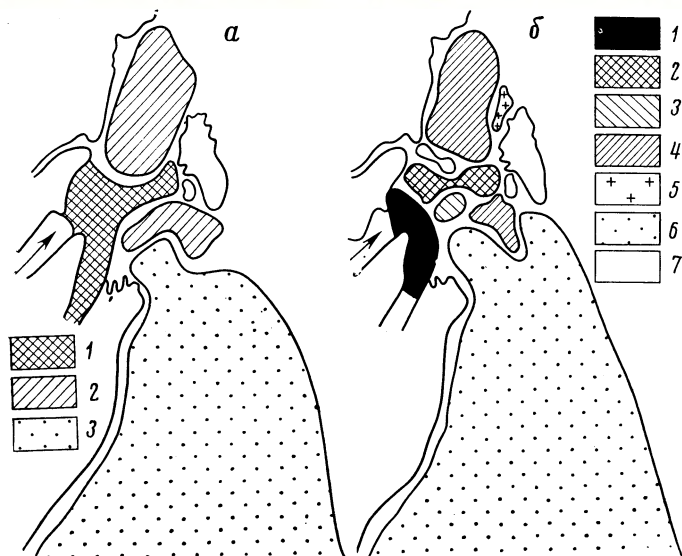


Рис. 1. Схемы расположения загрязненных зон, полученные с помощью индекса загрязненности (а) и на ЭВМ с помощью алгоритма «класс» (б).
1-7 — зоны. Стрелка — выброс сточных вод

нуля. Количество данных в принципе неограничено. Учитывая, что некоторые показатели изменяются в небольших пределах, по-видимому, в отдельных случаях целесообразно применение для них степенной функции. Более общая форма индекса может быть представлена в виде

$$I = \prod_{j=1}^{j=n} x_j^{(-1)^{ka_j}}$$

где x_j — j -й фактор загрязнения; a_j — показатель степени для x_j , k — показатель степени, определяющий характер вклада j -го фактора в загрязнение, т. е. $k=2n$, если x_j увеличивается, и $k=2n-1$, если x_j уменьшается с увеличением загрязнения.

Проследив за изменением численности организмов по мере уменьшения индекса, т. е. с разбавлением сточных вод, можно заметить известную по работе Хайнса ⁽¹⁾ тенденцию повышения численности в средних пределах изменения интегрального показателя. Это дает возможность с большей достоверностью связать динамику численности микрзоопланктона с концентрацией загрязнения и выделить в исследуемом районе три зоны: токсическую, эвтрофную и лимническую (зону стабилизации процессов и биологических показателей самоочищения вод на уровне общего лимнического фона) (рис. 1а). По всей вероятности эти зоны идентичны зонам деградации, активного распада и восстановления по Вайплу ⁽³⁾.

На рис. 1а приведен пример выделения зон по 27 точкам наблюдения на площади около 40 км². Достоверность закономерного распределения численности гидробионтов в выделенных зонах, проверенная по Стьюденту, соответствует вероятности 0,99.

Использование индекса помогает наглядно представить изменения гидрологической обстановки и направления распространения загрязнений в момент наблюдений. Распределение же численности микрзоопланктона, как более консервативного показателя (в сравнении с физико-химическими факторами), в сочетании с индексом дает представление о более типичных картинах распределения загрязнений в озере при определенных гидрологических ситуациях. Анализ материалов с помощью интегрального индекса загрязнения имеет преимущество перед визуальным сопоставлением карт распределения отдельных показателей в том, что классификация многомерных объектов осуществляется одновременно по всей совокупности признаков. Переход от многомерных величин к одномерным значительно сокращает объем иллюстрирующего материала без большой потери информации об исследуемом процессе.

Для этой же цели могут быть использованы методы машинной классификации. В частности, для нашей цели был использован один из алгоритмов метода распознавания образов — «класс» (разработанный в Институте Арктики и Антарктики (¹)), который строго статистически по множеству признаков разделяет исследуемые станции наблюдения на классы. В эти классы входят станции с наиболее близкими значениями всех признаков, включая численность гидробионтов. Сравнение зон, полученных каждым из методов, показало хорошее соответствие (рис. 1). Отличие состоит главным образом в более дробном делении зон на рис. 1б, что при необходимости может быть получено и с помощью индекса.

При выделении зон или классов вторым методом исключается элемент субъективизма, имеющий место при визуальном сопоставлении индекса загрязненности с численностью гидробионтов. Здесь численность инфузорий и коловраток учитывается ЭВМ наравне с физико-химическими показателями.

В зависимости от поставленной задачи целесообразно применение того или иного из предлагаемых методов. Так, для практических целей регулярного контроля за распределением и распространением загрязнений рекомендуется применение вышеописанного индекса. Для строгой проверки и углубленных исследований весьма полезно применение алгоритма «класс».

Институт озераведения
Академии наук СССР
Ленинград

Поступило
24 II 1976

ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Ю. В. Николаев, Тр. Ин-та биол. внутренних вод, информ. бюлл., № 4, 53 (1969).
² H. B. N. Hynes, The Biology of Polluted Waters, Liverpool Univ. Press, 1960.
³ G. C. Whipple, G. M. Fair, M. C. Whipple, The Microscopy of Drinking Water, N. Y., 1927. ⁴ C. E. Warren, Biology and Water Pollution Control, Philadelphia — London — Toronto, 1971.