

Оценка трофности лентических водоемов.

Яценко-Степанова Т.Н., Немцева Н.В, Бухарин О.В.

Институт клеточного и внутриклеточного симбиоза УрО РАН, Россия,
460000 г. Оренбург, ул. Пионерская, 11 e-mail: ikvs@esoo.ru

АННОТАЦИЯ

Выявлена группа информативных биотических параметров, которые в совокупности с абиотическими факторами оказались пригодными для оценки трофности лентических водоемов, и, как следствие, для определения экологического состояния водоемов.

Ключевые слова: Фитопланктон, водоросли, лентические водоемы, трофность, экологическое состояние

Важнейшим прикладным аспектом гидробиологических исследований является определение степени трофии водоемов для решения вопроса об их практическом использовании в народнохозяйственных целях.

Как правило, в основе трофической типизации лежит установление уровня биопродуктивности. Одним из основных продуцентов органического вещества являются микроскопические планктонные водоросли. Все изменения, происходящие в водоемах, в том числе эвтрофирование, прежде всего, отражаются на сообществах этих автотрофных организмов. Поэтому структурные и функциональные показатели фитопланктона, а также условия его развития являются одним из основных критериев трофии (Мусатов А.П., 2001; Трифонова И.С. и др., 2003)

Как известно, исследования по определению уровня трофии, сапробности водоема и класса качества вод, проводимые с использованием существующих методик, предполагают обработку большого количества фактического материала по оценке видового состава, скорости продукционно-деструкционных процессов, абиотических показателей, а также расчета численности, биомассы водорослей, индекса сапробности и т.п., достигая десятков единиц (Трифопова И.С., 1990; Окснюк О.П. и др., 1993; Садчиков А.П.,

2002; Шитиков В.К., Зинченко Т.Д., 2005), что в значительной степени задерживает получение результатов и усложняет мониторинг. В связи с этим очевидна необходимость поиска адекватных показателей, обладающих высокой степенью информативности, но измерение, которых сочетало бы в себе приемлемые уровни сложности, точности и универсальности. Исходя из этого, нами была предпринята попытка выявления таких параметров, с последующей разработкой удобного на практике метода определения уровня трофности пресных озер (на примере водоемов степного Приуралья).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалом для работы послужили результаты многолетних (1982-2006 гг.) наблюдений за динамикой качественных и количественных показателей развития фитопланктона девяти лентических водоемов, расположенных в пойме реки Урал, базовыми из которых послужили два – оз. Рудничное (площадь 24,0 га) и оз. Беленовское (19,6 га). Базовые озера располагаются вдоль русла реки на расстоянии 3 км друг от друга. По морфометрическим и гидрохимическим показателям они в определенной степени схожи. Основные различия связаны с прозрачностью воды (прозрачность воды озера Беленовское в меженный период колеблется от 30 до 70 см, в озере Рудничное – от 70 до 250 см по диску Секки) и интенсивностью антропогенной нагрузки: оз. Рудничное в силу своей удаленности от населенных пунктов не вовлечено в хозяйственную деятельность, тогда как на берегу оз. Беленовское располагаются два населенных пункта, сточные воды которых поступают непосредственно в водоем.

Отбор, фиксацию, обработку проб и идентификацию водорослей осуществляли по классическим методикам (Водоросли. Справочник, 1989). Исследования продукционно-деструкционных процессов проводили скляночным методом (Винберг Г.Г., 1960). Антропогенную нагрузку определяли в баллах на основе экспертной оценки (Шитиков В.К., Зинченко Т.Д., 2005).

Полученные материалы (около 17000 первичных данных) были подвергнуты статистической и математической обработке с использованием

пакета программ Excel 2003, Statistika 6,0 for Windows XP. Были применены корреляционный и линейный множественный регрессионный анализ с последующим получением уравнения регрессии. Доверительную оценку коэффициента корреляции проводили по критерию t-Стьюдента.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Используя приемы, принятые в классической экологической практике, на основании оценки видового состава, сезонной динамики численности и биомассы фитопланктона озер, а также закономерностей продукционно-деструкционных процессов был определен трофический статус: оз. Рудничное по шкале трофности отнесено к мезотрофным, оз. Беленовское - к эвтрофным водоемам.

Для разработки оперативного и удобного на практике метода определения уровня трофности пресных озер, были выявлены обладающие высокой степенью информативности параметры. Из биотических были отобраны таксоны-индикаторы отвечающие следующим требованиям: ранг выше видового (род), максимальная частота встречаемости в пробах и водоемах. Из всех выявленных родов водорослей вышеназванным требованиям соответствовали: *Scenedesmus* Meyen, *Trachelomonas* Ehr., *Crucigenia* Morr., *Coelastrum* Näg., *Tetraedron* Kütz. ex Korsch. (*Scenedesmus* Meyen - частота встречаемости по озерам от 98,1 до 100%; *Crucigenia* Morr. – от 94,2 до 98,1 %; *Coelastrum* Näg. – от 88,5 до 91,2%; *Tetraedron* Kütz. ex Korsch. – от 94,6 до 94,2%, *Trachelomonas* Ehr. – от 94,2 до 100%, *Microcystis* (Kütz.) Elenk. от 55,6 до 74,4%). Однако, вследствие очень малых размеров клеток *Microcystis*, учет количественных показателей развития этой водоросли сильно затруднен. Учитывая, что индикаторами эвтрофного состояния водоемов принято считать большинство синезеленых водорослей, в расчеты были приняты виды, относящиеся к родам *Anabaena* Bory и *Aphanizomenon* Morr.

Вышеназванные роды были объединены в группы по названию соответствующих отделов: «*Chlorophyta*» (все виды родов *Coelastrum* Näg., *Crucigenia* Morr., *Scenedesmus* Meyen, *Tetraedron* Kütz. ex Korsch.),

«*Euglenophyta*» (все виды рода *Trachelomonas* Ehr.), «*Cyanophyta*» (все виды родов *Anabaena* Bory, *Aphanizomenon* Morr.).

Из множества абиотических параметров, нами, как отражающие особенности региона и водоемов и не требующие специальных методик определения, были отобраны: «среднедекадная температура воздуха», «среднедекадная облачность», «среднедекадный ветер», «количество осадков за декаду», «прозрачность воды» и «глубина водоема». Среди них, при помощи корреляционного анализа в совокупности с вышеназванными биотическими параметрами, были выбраны: «Среднедекадная температура воздуха», «Количество осадков за декаду» и «Прозрачность».

Выявленные информативные параметры использованы в качестве предикторов для получения модели множественной регрессии, являющейся весьма простым и эффективным методом анализа причинно-следственных отношений (Шитиков В.К. и др., 2005). В качестве зависимой переменной Y ($Y=f(X_1, X_2, \dots, X_6)$) выступил предложенный нами индекс степени трофности (ИСТ).

Путем сравнения количественных показателей развития планктонной альгофлоры, были определены числовые показатели эвтрофирования водоемов. Для расчетов использовался показатель «общая численность фитопланктона», так как известно, что первым откликом на процесс эвтрофирования является увеличение общей численности водорослей, и только после этого происходят изменения в его структуре и сезонной динамике (Трифонов И.С. с соавт., 2003).

Числовые значения уровня эвтрофирования рассчитывали как разницу логарифмов общей численности водорослей эвтрофного (ОЧЭ) и мезотрофного (ОЧМ) водоемов с учетом уровня антропогенной нагрузки (АН), выраженной в баллах.

Определение числовых значений уровня эвтрофирования озер (n) производили по уравнениям:

- для эвтрофного озера - $n = (\ln \text{ОЧЭ}) - (\ln \text{ОЧМ}) + (\text{АНЭ} - \text{АНМ})$ [1],

- для мезотрофного водоема: $n = (\ln \text{ОЧЭ}) - (\ln \text{ОЧМ})$ [2],

где ОЧЭ - общая численность водорослей эвтрофного водоема (кл./мл); ОЧМ - общая численность водорослей мезотрофного водоема (кл./мл); АНЭ - антропогенная нагрузка на эвтрофный водоем (баллы); АНМ - антропогенная нагрузка на мезотрофный водоем (баллы).

Сравнение параллельного ряда полученных значений (по данным 104 наблюдений) позволило получить границы уровня трофности: при значении $\leq 3,1$ – водоем мезотрофный; при $\geq 4,1$ – водоем эвтрофный. В дальнейшем мы приняли, что эти границы для всех расчетов остаются неизменными.

Линейный множественный регрессионный анализ позволил получить следующее уравнение регрессии:

$$Y = 3,532 + 0,436 \times X_1 - 0,228 \times X_2 + 0,002 \times X_3 - 0,005 \times X_4 + 0,023 \times X_5 - 1,157 \times X_6 \quad [3]$$

где: Y – ИСТ (вводимый нами индекс степени трофности); X_1 – \ln («*Chlorophyta*», кл./мл); X_2 – \ln («*Euglenophyta*», кл./мл); X_3 – \ln («*Cyanophyta*», кл./мл); X_4 – среднедекадная температура воздуха, °C; X_5 – количество осадков за декаду, мм; X_6 - прозрачность, баллы (50 см прозрачности воды, определенной по диску Секки, приравнивали к 1 баллу).

Применение полученной регрессионной модели подразумевает формальную подстановку значений показателей параметров, определенных для каждого конкретного водоема. Рассчитанные цифровые значения Y (ИСТ) сравниваются с выше найденными границами уровня трофности:

если $Y(\text{ИСТ}) \leq 3,0$ – водоем мезотрофный, $3,1 \leq Y(\text{ИСТ}) \leq 4,0$ – переходное состояние, $4,1 \leq Y(\text{ИСТ})$ – водоем эвтрофный.

Апробация предложенной модели в сравнении с оценкой уровня трофности по классическим методикам, проведенная на семи озерах с известным уровнем трофности (Большое Песчаное; Бородок; Лебяжье; Кресты; Музыкантское; Линево; Дальнее Песчаное) выявила 255 совпадений из 292 анализов, что позволило определить величину надежности предложенной модели как $87,33\% \pm 1,95\%$.

Однако разработанная модель [3] в практическом использовании требовала учета значительного количества показателей развития фитопланктона и была доступна в применении только специалистам – альгологам, умеющим определять родовую принадлежность водорослей.

Поэтому, с целью разработки удобного на практике метода, работа в этом направлении была продолжена. Учитывая, что многие из водорослей встречаются в озерах всех типов трофности лишь с разной численностью популяций (Трифонов И.С., 1990), в качестве предикторов из вышеназванных родов были отобраны виды-параметры, отвечающие следующим требованиям: а) максимальная частота встречаемости вида в пробах и водоемах; б) максимальная динамика количественных показателей как ответ на воздействие окружающей среды.

Этим требованиям соответствовали *Crucigenia tetrapedia* (Kirchn.) W. Et G.S. West, *Scenedesmus quadricauda* (Turp.) Breb. var. *quadricauda*, *Trachelomonas volvocinopsis* Swir. Частота встречаемости данных видов в среднем составила: 91,3%; 93,3%; 93,1%, соответственно.

Как и в предыдущем случае из абиотических параметров при помощи корреляционного анализа в совокупности с вышеназванными биотическими параметрами, были выбраны: «Среднедекадная температура воздуха», «Количество осадков за декаду» и «Прозрачность».

Конечным этапом математической обработки явилось построение с помощью линейного множественного регрессионного анализа модели, позволяющей дифференцировать эвтрофное и мезотрофное состояние водоемов на основе минимального числа параметров.

$$Y = 4,09 + 0,15 \times X_1 + 0,20 \times X_2 - 0,16 \times X_3 + 0,01 \times X_4 + 0,03 \times X_5 - 1,19 \times X_6 \quad [4],$$

где: Y – ИСТ (вводимый нами индекс степени трофности); X₁ – ln численности водоросли (кл./мл) *Crucigenia tetrapedia* (Kirchn.) W. Et G.S. West; X₂ – ln численности водоросли (кл./мл) *Scenedesmus quadricauda* (Turp.) Breb. var. *quadricauda*; X₃ – ln численности водоросли (кл./мл) *Trachelomonas vol-*

vocinopsis Swir.; X_4 – среднедекадная температура воздуха, °С; X_5 – количество осадков за декаду, мм; X_6 – прозрачность воды, баллы (50 см прозрачности воды, определенной по диску Секки, приравнивали к 1 баллу).

Полученная регрессионная модель была проверена еще на семи озерах с установленным уровнем трофности (Большое Песчаное; Бородок; Лебязье; Кресты; Музыкантское; Линево; Дальнее Песчаное) в сравнении с оценкой уровня трофности по классическим методикам. Из 245 проведенных проверок было получено 215 совпадений, что позволило определить величину надежности предложенного метода $87,75\% \pm 2,09\%$.

К достоинствам данного метода относятся: а) скорость определения ИСТ, что позволяет получать результаты достаточно быстро, в полевых условиях непосредственно у водоема; б) легкость обучения применению метода; в) максимальная простота в определении вышеуказанных видов водорослей, а значит доступность метода (возможность использования не только специалистами - альгологами); г) относительно высокая степень надежности. Предложенный метод может использоваться в качестве экспресс-метода определения трофического статуса водоема непосредственно в полевых условиях. Скорость одного определения в зависимости от количественного богатства пробы, квалификации лаборанта и т.п. составляет от 15 до 30 минут.

В результате был разработан алгоритм определения трофности водоемов и поиска информативных параметров для получения регрессионного уравнения определения уровня трофии водоемов. Найденный алгоритм является методическим ключом для построения математических моделей диагностики уровня трофности водоемов другого типа и других физико-географических территорий.

АВТОРЫ:

_____ Т.Н. Яценко-Степанова

_____ Н.В. Немцева

О.В. Бухарин

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Винберг Г.Г. Первичная продукция водоемов. Минск, Изд-во АН БССР, 1960. 329 с.
2. Водоросли. Справочник / Вассер С.П., Кондратьева Н.В., Масюк Н.П. и др. Киев, Наук. думка, 1989. 608 с.
3. Мусатов А.П. Оценка параметров экосистем внутренних водоемов. М., Научный мир, 2001. 192 с.
4. Окснюк О.П. Жукинский В.Н., Кузьменко М.И. и др. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши. // Гидробиол. ж. – 1993. – 29, № 4. – С.62 – 76;
5. Садчиков А.П. Потребление и деструкция органического вещества в водоемах различной трофности.// Водные ресурсы. 2002, т.29, № 1, С. 92 – 97.
6. Трифонова И.С. Экология и сукцессия озерного фитопланктона. – Л.: Наука, 1990. – 184 с.
7. Трифонова И.С., Воронцова Н.К., Макарецва Е.С., Павлова О.А., Ульянова Д.С., Чеботарев Е.Н. Влияние климатических изменений и эвтрофирования на динамику планктонных популяций мезотрофного озера./ СПб.: НИИ химии СПбГУ – 2003. – 125 с.
8. Шитиков В.К., Зинченко Т.Д. Комплексные критерии экологического состояния водных объектов: экспертный и статистический подход.// Количественные методы экологии и гидробиологии (Сборник научных трудов, посвященный памяти А.И.Баканова) – Тольятти: СамНЦ РАН, 2005. С.134 – 147.
9. Шитиков В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д. Количественная гидроэкология: методы, критерии, решения: в 2 кн./ Ин-т экологии Волжс. бассейна. – М.: Наука, 2005. Кн. 1. – 281с. Кн. 2. – 337 с.