

# СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ТОКСИЧНОСТИ И ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НЕКОТОРЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ГОРОДА ТЮМЕНИ МЕТОДАМИ КОРРЕЛЯЦИОННОГО И МНОГОМЕРНОГО (КЛАСТЕРНОГО) АНАЛИЗА

*Л.В. МИХАЙЛОВА,*

*кандидат биологических наук, профессор,*

*Г.Е. РЫБИНА,*

*кандидат биологических наук, доцент,*

*Е.А. МАСЛЕНКО,*

*кандидат биологических наук, старший преподаватель,*

*Ф.В. ГОРДЕЕВА,*

*аспирант, Тюменская ГСХА*

**Ключевые слова:** *тест-объект, токсичность, загрязняющие вещества, корреляционный анализ, кластерный анализ.*

В процессе любых научных (особенно – экспериментальных) исследований мы имеем дело с цифрами: различными диагностическими и количественными показателями и числовыми характеристиками. За кажущимся хаосом этих цифр прячутся конкретные закономерности, которые требуют объективной оценки и научного объяснения. И здесь самое широкое применение находят методы и приёмы биометрии – вариационной статистики, призванной с помощью соответствующего математического аппарата оценить разнообразие связи, зависимости и отношения между биологическими явлениями, объектами и процессами, а также показать реальность их существования [1].

## **Цель и методика исследований**

Целью данной работы является обобщение 3-летних исследований токсичности и загрязнения донных отложений городских водоёмов с использованием методов корреляционного и кластерного анализа.

Для оценки качества донных отложений (ДО) водоёмов города Тюмени были использованы методы биотестирования (на простейших *Paramecium caudatum*, ракообразных *Ceriodaphnia affinis* и водорослях *Scenedesmus quadricauda*) и гидрохимии согласно ГО-Стандартных методик [2, 3, 4]. Исследования проводились в сезонной динамике

в периоды 2006-2008 годов. Данные по токсичности и химическому загрязнению ДО обрабатывали с помощью корреляционного анализа (пакет Microsoft Excel) и кластерного анализа (программа Statistica). При обработке полученных данных вычисляли корреляционные отношения между содержанием загрязняющих веществ (ЗВ) и ответными реакциями биологических объектов (*Paramecium caudatum*, *Ceriodaphnia affinis* и *Scenedesmus quadricauda*) по показателям численности, выживаемости, плодовитости и чистой продукции. Объём выборок: в 2006 году – 12 пар, в 2007 году – 24 пары, в 2008 году – 27 пар наблюдений. Коэффициент корреляционного отношения ( $r_{yx}$ ) между тест-функциями организмов (Y) и содержанием загрязняющих веществ (X) рассчитывали по следующей формуле [5]:

$$r_{yx} = \sqrt{\frac{\sum (Y_i - \bar{y})^2 - \sum (Y_i - \bar{y}_x)^2}{\sum (Y_i - \bar{y})^2}}$$

Для выяснения природы токсичности исследованных проб были использованы значения корреляционных отношений, превышающих 0,7. Коэффициент корреляционного отношения от 0,7 до 0,9 свидетельствует о сильной связи между признаками, а более 0,9 –



625023, г. Тюмень,

ул. Одесская, 33;

тел. (3452) 41-58-07

об очень сильной (близкой к функциональной) связи.

Кроме того, использовали метод взвешенного попарного среднего (древовидная кластеризация) для 6, 8 и 9 пар наблюдений, что позволило выявить связь между водными объектами. При этом чем меньше расстояние 1-г Пирсона, тем теснее связь [1].

## **Результаты исследований**

Используя корреляционный анализ, оценили вклад каждого загрязняющего вещества в токсичность изучаемых проб донных отложений (табл.).

Было установлено, что в наибольшей степени острая токсичность донных отложений исследованных водоёмов в 2006 году для **парameций** зависела от концентрации ОВ ( $r_{yx} = 0,93$ ), затем следуют тяжёлые металлы, нефтепродукты и аммоний ( $r_{yx} > 0,7$ ). Хронический токсический эффект обусловлен рН, органическим веществом, свинцом и цинком. Для **цериодафний** вероятной причиной хронической токсичности являлись сульфаты, аммоний. На плодовитость рачков значительное влияние оказывали сульфаты, хлориды, нитриты и аммоний. На численность **водорослей** в хроническом опыте влияли свинец и цинк, а на чистую продукцию – ртуть ( $r_{yx} > 0,9$ ), нефтепродукты, органическое вещество и аммоний ( $r_{yx} > 0,7$ ).

В 2007 году в острую токсичность ДО для **парameций** максимальный вклад внесли сульфаты, цинк, медь, аммоний и хлориды, в хроническую –

**Test-object, toxicity, fouling substances, the correlation analysis, cluster analysis.**

ионы меди, аммония и цинка. Основной вклад в хронический токсический эффект по выживаемости **цериодафний** внесли нитриты, аммоний, сульфаты и хлориды, а по плодovitости – нитриты, нефтепродукты, ОВ и рН. Для **сценедесмуса** токсичность зависела от цинка, аммония, меди, сульфатов, нитритов, свинца, рН, нефтепродуктов и хлоридов. Чистая продукция изменялась под влиянием таких ЗВ, как ртуть, аммоний, свинец и нефтепродукты, и величины рН.

В 2008 году компонентами ДО, оказывающими острое токсическое действие на **простейших**, были рН, аммоний, сульфаты, цинк, нитриты и ОВ. Хронический токсический эффект проявлялся под действием аммония, тяжёлых металлов, хлоридов. Нефтепродукты, ОВ, медь, свинец и сульфаты оказывали негативное влияние на вы-

живаемость, а рН, нитриты, сульфаты, цинк и нефтепродукты – на плодovitость **рачков**. На численность популяции клеток **водорослей** оказывали сильное действие все ЗВ за исключением сульфатов, аммония, нефтепродуктов. Показатель чистой продукции водорослей изменялся под воздействием сульфатов, хлоридов, нитритов, ртути, аммония.

Кластеризация – метод, широко используемый в современной таксономии, – позволяет наглядно представить сходство или различие природных объектов, охарактеризованных по многим параметрам. Основная функция кластерного анализа – выявление скрытой структуры биологического материала [1].

Кластерный анализ химического состава и токсичности донных отложений, определяемой методом биотестирования,

представлен на рисунках 1 и 2. Как видно из дендрограммы химического состава ДО (рис. 1), в 2006 году можно выделить два кластера. Первый тесно объединяет озеро Кривое и пруд Утиный, второй – пруды Лесной и Южный. Пруды Кристальные родники и Чистый по химическому составу образуют отдельные кластеры. Первый тяготеет к 1-му кластеру, второй – ко 2-му. Пруд Чистый выпадает из ряда исследованных городских водоемов по показателям повышенной минерализации (практически в 3,5-7,4 раза по хлоридам и в 2,3-4,0 раза по сульфатам) и содержания ртути (в 9,8-12,4 раза) [6, 7].

В 2007 году наблюдается объединение исследованных водоёмов в 3 кластера, причем наибольшее сходство отмечается между 2 станциями отбора проб озера Андреевского. Во 2-й кластер входят пруды Южный и Утиный, более слабой связью тяготеет к ним пруд Кристальные родники. Это связано с тем, что в донных отложениях пруда Кристальные родники повышенное содержание сульфатов, нефтепродуктов и тяжёлых металлов. 3-й кластер объединяет озеро Круглое и пруд Лесной. 2-я станция озера Круглое имеет менее тесную связь с данным кластером из-за повышенного содержания органических веществ, цинка и меди [8].

В 2008 году водоёмы распределились также в 3 кластера. Наиболее тесная связь прослеживается между прудами Утиный и Лесной. Из этого ряда выпадают пруды Чистый и Северный, как бы образуя отдельные кластеры. Как и в 2006 году, в пруду Чистом отмечалась повышенная минерализация, большое содержание цинка, меди, свин-

Корреляционное отношение  $r_{xy}$  для ДО городских водоёмов

Тест-объект		pH	Cl	SO <sub>4</sub>	NH <sub>4</sub>	NO <sub>2</sub>	ОВ	Zn	Cu	Pb	Hg	НП
<b>2006 год</b>												
<i>Paramecium caudatum</i>	1 сут.	0,48	0,69*	0,65*	0,81*	0,57	0,93*	0,79*	0,77*	0,86*	0,74*	0,81*
	4 сут.	0,83*	0,53	0,64*	0,47	0,64*	0,76*	0,75*	0,52	0,82*	0,62*	0,59*
<i>Ceriodaphnia affinis</i>	10 сут.	0,69*	0,59*	0,85*	0,82*	0,69*	0,61*	0,68*	0,51	0,58*	0,55	0,62*
	плод-ть	0,63*	0,81*	0,89*	0,76*	0,79*	0,58*	0,61*	0,62*	0,29	0,59*	0,56
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	4 сут.	0,52	0,69*	0,66*	0,56	0,63*	0,41	0,77*	0,56	0,81*	0,57	0,46
	прод. ч.	0,46	0,66*	0,44	0,70*	0,66*	0,82*	0,35	0,55	0,27	0,92*	0,83*
<b>2007 год</b>												
<i>Paramecium caudatum</i>	1 сут.	0,46*	0,72*	0,84*	0,81*	0,69*	0,45*	0,82*	0,82*	0,68*	0,67*	0,67*
	4 сут.	0,68*	0,69*	0,69*	0,83*	0,68*	0,69*	0,71*	0,83*	0,66*	0,62*	0,66*
<i>Ceriodaphnia affinis</i>	10 сут.	0,69*	0,72*	0,77*	0,80*	0,83*	0,53*	0,64*	0,64*	0,64*	0,55*	0,63*
	плод-ть	0,73*	0,58*	0,65*	0,54*	0,88*	0,74*	0,49*	0,68*	0,62*	0,66*	0,79*
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	4 сут.	0,75*	0,71*	0,78*	0,82*	0,77*	0,68*	0,85*	0,79*	0,75*	0,66*	0,72*
	прод. ч.	0,76*	0,56*	0,63*	0,89*	0,39	0,60*	0,67*	0,64*	0,72*	0,89*	0,72*
<b>2008 год</b>												
<i>Paramecium caudatum</i>	1 сут.	0,82*	0,62*	0,75*	0,81*	0,70*	0,70*	0,71*	0,57*	0,62*	0,64*	0,72*
	4 сут.	0,57*	0,79*	0,68*	0,87*	0,66*	0,72*	0,70*	0,73*	0,74*	0,81*	0,60*
<i>Ceriodaphnia affinis</i>	10 сут.	0,66*	0,67*	0,71*	0,65*	0,59*	0,75*	0,63*	0,74*	0,71*	0,66*	0,80*
	плод-ть	0,75*	0,55*	0,75*	0,66*	0,81*	0,58*	0,71*	0,64*	0,59*	0,65*	0,70*
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	4 сут.	0,73*	0,72**	0,55*	0,60*	0,74*	0,68*	0,84*	0,76*	0,84*	0,78*	0,69*
	прод. ч.	0,67*	0,84*	0,86*	0,74*	0,82*	0,59*	0,66*	0,67*	0,60*	0,82*	0,62*

Примечание: \* – статистически достоверные значения; **жирным шрифтом** выделены значения корреляционных отношений, соответствующих сильной связи между изученными показателями; **жирным подчеркнутым** – очень сильной (близкой к функциональной) связи.

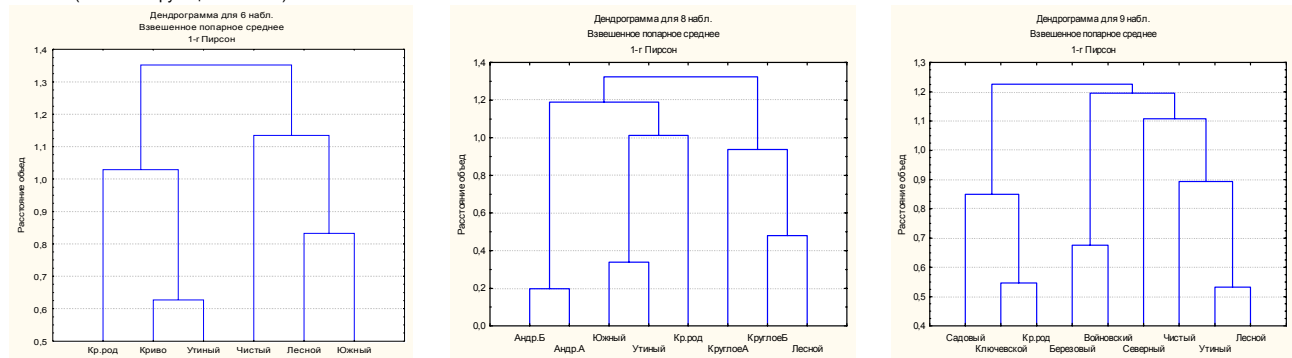


Рисунок 1. Дендрограмма химического состава донных отложений

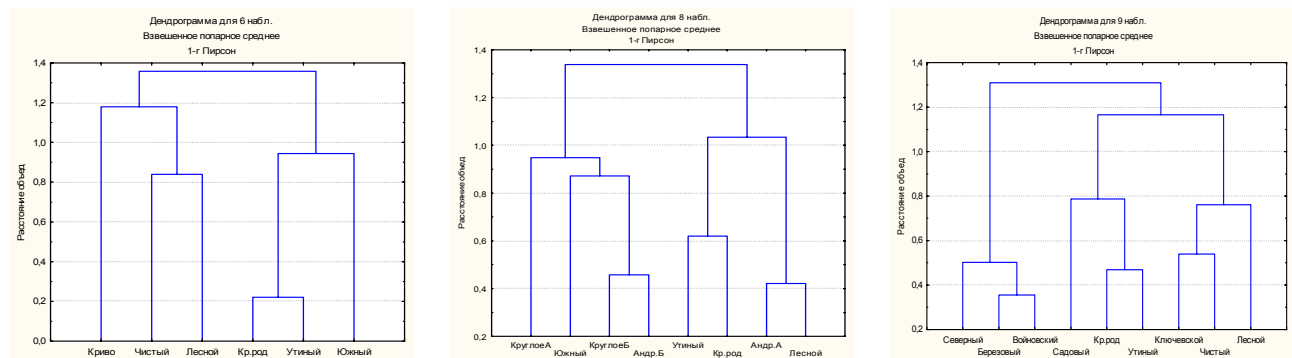


Рисунок 2. Дендрограмма токсичности донных отложений

ца, а в пруду Северный – нитритов, органических веществ и ещё более высокое, чем в пруду Чистый, содержание цинка, меди, свинца и железа. Пруды Березовый и Войновский объединяются в 3-й кластер.

По данным токсичности ДО в 2006 году исследованные пробы водоёмов объединяются в 2 кластера. Из рисунка 2 видно тесное сходство прудов Кристальные родники и Утиный в 1-м кластере. Во 2-й кластер входят пруды Чистый и Лесной. В 2007 году 1-й кластер объединяет водоёмы Утиный, Кристальные родники, 2-й – Андреевское А и Лесной. В 3-й кластер входят озёра

Круглое и Андреевское. Пруд Южный и озеро Круглое А образуют отдельные кластеры. В 2008 году наибольшее сходство отмечалось между прудами Березовый и Войновский в 1-м кластере. Во 2-й кластер входят пруды Кристальные родники, Утиный, в 3-й – Ключевской и Чистый. Пруд Лесной и Садовый выпадают из этих кластеров. Обращает внимание, что пруд Чистый по химическим показателям ДО образует отдельный кластер, в то время как по токсичности он кластеризуется в 2006 году с озером Кривое, а в 2008 году – с прудом Ключевским.

### Заключение

Таким образом, по результатам корреляционного и кластерного анализа можно заключить, что все ЗВ в разных сочетаниях оказывают токсическое действие на тест-объекты. Токсичность обусловлена как синергическим, так и антагонистическим действием загрязняющих веществ, поэтому кластеризация водоёмов по химическому составу ДО не всегда совпадает с таковой по критерию биотестирования. Таким образом, для оценки экологического состояния водоёмов недостаточно только химических данных. Необходимо комплексное исследование.

### Литература

1. Ивантер Э. В., Коросов А. В. Введение в количественную биологию : уч. пособие. Петрозаводск : Петр.ГУ, 2003. 304 с.
2. Р 52.24-94. Рекомендации. Методы токсикологической оценки загрязнения пресноводных экосистем. М. : Фед. служба России по гидрометеорологии и мониторингу окруж. среды, 1994. С. 34-44.
3. ФР.1.39.2001.00282. Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по смертности и изменению плодовитости цериодафний. М. : АКВАРОС, 2001. 55 с.
4. ФР.1.39.2001.0084. Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по изменению уровня флуоресценции хлорофилла и численности клеток водорослей. М. : АКВАРОС, 2001. 60 с.
5. Лакин Г. Ф. Биометрия : уч. пособие для ун-тов и пед. ин-тов. М. : Высшая школа, 1980. 343 с.
6. Михайлова Л. В., Рыбина Г. Е., Масленко Е. А., Гордеева Ф. В. Эколого-токсикологическое исследование некоторых обособленных водных объектов на территории города Тюмени : тез. докл. конф. «Чистая вода». Тюмень, 2007. С. 20-24.
7. Михайлова Л. В., Князева Н. С., Захарова Т. В., Уварова В. И. Оценка состояния некоторых водоёмов города Тюмени по химическим показателям воды и донных отложений : тез. докл. конф. «Чистая вода». Тюмень, 2007. С. 28-31.
8. Михайлова Л. В., Рыбина Г. Е., Масленко Е. А., Гордеева Ф. В. Эколого-токсикологическое состояние обособленных водных объектов на территории города Тюмени за 2007 г. : тез. докл. конф. «Чистая вода». Тюмень, 2008. С. 25-27.