

ББК 20.1
УДК 502.76+504+577.4
Э 40

Ответственные редакторы:

Ю.И. Винокуров, доктор географических наук, директор Института водных и экологических проблем СО РАН

И.Н. Ротанова, кандидат географических наук, ученый секретарь Института водных и экологических проблем СО РАН

Э 40 Экологический анализ региона (теория, методы, практика): Сборник научных трудов. – Новосибирск: Издательство СО РАН, 2000. – 276 с.

ISBN 5-7692-0425-7

Сборник включает научные статьи по материалам докладов, сделанных на научной сессии ИВЭП СО РАН 30 мая 2000 г., посвященной 60-летию юбилею директора Института водных и экологических проблем СО РАН, д.г.н. Юрия Ивановича Винокурова.

Статьи освещают основные направления деятельности научных подразделений Института. В них охватывается широкий круг вопросов теории и методики проводимых исследований, а также даны результаты, полученные сотрудниками ИВЭП СО РАН за последние годы.

Структурно сборник разделен на две части. В первой части публикуются статьи ведущих научных сотрудников Института. Вторая часть составлена по материалам докладов на молодежной секции научной сессии.

Материалы сборника представляют интерес для научных работников, преподавателей, аспирантов и студентов, а также читателей, интересующихся вопросами и достижениями в области географии, биологии, экологии, природопользования, применения методов математического моделирования, использования средств вычислительной и экспериментальной техники.

Сборник печатается по решению Ученого совета ИВЭП СО РАН.

ISBN 5-7692-0425-7

© Институт водных и экологических проблем СО РАН, 2000

ЛАНДШАФТНАЯ ИНДИКАЦИЯ В РЕГИОНАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Ю.И. Винокуров

Общее направление развития ландшафтной индикации шло от использования частных индикаторов к комплексным. К частным видам относится геоботаническая индикация, основанная на связи растительного покрова с характером субстрата и проходящими в нем процессами (литология, увлажнение, засоление и др.); геоморфологическая – генетические взаимосвязи между формами рельефа и условиями их образования. Рельеф является индикатором геолого-геоморфологических процессов прошлого и современного рельефообразования, гидрогеологических условий и др. При индикационных географических исследованиях широко применяются и другие виды индикаторов – рисунок речной сети, гидробионты, следы деятельности человека, рисунок ландшафта.

Более высокой формой развития индикационного направления является комплексная ландшафтная индикация, идея которой предложена С.В. Викторовым и базируется на использовании в качестве индикатора экотюруса природного комплекса в целом. Преимущество комплексной ландшафтной индикации перед отраслевой заключается в расширении набора индицируемых показателей (нами изучалось до 12–15 индикаторов-параметров инженерно-геологических, гидрогеологических, природно-мелиоративных условий) и повышении надежности индикации за счет более строгой локализации индикатора.

Теоретические предпосылки ландшафтной индикации. В пределах определенной генетически однородной части земной поверхности все природные компоненты (литогенная основа, формы проявления ее на дневной поверхности – рельеф, атмосфера и ее особенности, почвы, растительность, грунтовые воды и т.д.) находятся в тесной взаимообусловленности, образуя единое целое – природно-территориальный комплекс (ПТК).

Под ландшафтно-индикационными исследованиями, вслед за С.В. Викторовым (1976), понимается комплексное изучение ПТК, в результате которого выявляются корреляционные связи между индикаторами (внешние или физиономические характеристики ландшафта) и индикатами (группа деципиентных, т.е. ускользящих от непосредственного наблюдения компонентов ландшафта) на ключевых участках, а сам процесс определения деципиентных компонентов для ландшафт-

использующего объект, пока внешняя реакция объекта остается без изменений, никакие изменения во внутренней реализации не имеют значения. Это дает возможность легко заменять одну реализацию объекта другой без изменения внешнего программного окружения.

Объектно-ориентированный подход был принят на вооружение при построении операционных систем такими известными фирмами, как Microsoft, Apple, IBM, Novell, Sun Microsystems. Примером использования этого подхода является система SmallWorld Plus, в которой все элементы – от окон до топологических точек – рассматриваются как самостоятельные объекты, обладающие собственным поведением. Объектами здесь являются переменные, методы, элементы интерфейса. Методы пишутся на собственном объектно-ориентированном языке, похожем и на C++, и на Pascal понемногу. Всю возможную информацию SmallWorld хранит во внешних БД, для поддержки которых используется, в частности, система Oracle.

2. Объектно-компонентный подход.

Этот подход является развитием объектно-ориентированного подхода. Он предоставляет возможность конструирования конкретных систем путем подбора готовых элементов, отвечающих задачам конечного пользователя, а также возможность объединения компонентов от разных поставщиков и разработчиков. Программное обеспечение при этом работает с естественными для пользователя понятиями типа квартал, улица, дорога, а не с системно ориентированными понятиями, такими как точки, линии полигоны. Примером реализации этого подхода может служить разработка муниципальной ГИС в сети Intranet [10]. Используя механизмы объектно-ориентированного подхода, эта система предоставляет пользователю интерактивный компонентный инструмент для организации данных о городской среде.

Использование того или иного метода интеграции информационных и программных компонентов в единую геоинформационную среду для эффективного решения проблемы построения и эксплуатации прикладных геоинформационных комплексов зависит от соотношения характеристик этих комплексов: сложности структур данных, соотношения пространственных и атрибутивных данных, наличия и объема расчетно-аналитических задач, выбранных режимов обработки данных (простая визуализация, математико-картографическое моделирование). На практике обычно приходится использовать комбинацию из нескольких методов.

1. Кузнецов С.Д., Филинов Е.Н. Открытые системы, процессы стандартизации и профили стандартов // Введение в теорию открытых систем. М., 1995. С. 3-12.
2. Широкова С.Л. Информационные технологии в решении экологических проблем // Сибирский экологический журнал. Том IV, 2, 1997. С. 229-234.
3. Косяков С.В., Никольский В.Н., Точилкин С.В. Об интеграции ГИС и прикладных программных комплексов // Матер. Форума ГИС'97. М., 1997. С. 174-175.
4. Широкова С.Л., Ловцкая О.В., Шелепов С.М. Применение геоинформационных технологий для создания приложений // Матер. Межд. конф. «Интеркарто-2: ГИС для изучения и картографирования окружающей среды». Иркутск, 1996. С. 207-209.
5. Боцула А.В., Евграфов И.П., Лалушкин Ю.Л. Анализ требований к ГИС при ее интеграции в комплекс задач ситуационного центра // Матер. Форума ГИС'97. М., 1997. С. 102-104.
6. Воробьев Е.К., Жоров В.А., Ловцкая О.В., Яковченко С.Г. Программные средства для определения максимального стока при отсутствии данных гидрометрических наблюдений // Настоящий сборник.
7. Вайсфельд В.А., Ексаев А.Р. Принципиальные основы применения ГИС-технологий для городских инженерных коммуникаций // Геоинформационные системы и их возможности в водном секторе. М., 1998. С. 15-20.
8. Кузнецов С.Д. Современное состояние и перспективы баз данных / Введение в теорию открытых систем. М., 1995. С. 54-64.
9. Шабельникова Т.Г., Кашик А.С., Гогоненков Г.Н. Новые идеи и технологии создания региональных банков данных по нефтяным и нефтегазовым месторождениям // Геоинформатика в нефтегазовой отрасли. М., 1998. С. 137-139.
10. Калантаев П.А., Пяткин В.П. Объектно-ориентированная ГИС в сети Intranet // Матер. Межд. конф. "ГИС для устойчивого развития территорий", Апатиты, 2000. Т.1. С. 22-26.

ВИДОВОЕ РАЗНООБРАЗИЕ ЗООБЕНТОСА И ПРОТОЗООПЛАНКТОНА КАК ОДИН ИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ АНТРОПОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ РЕКИ БАРНАУЛКИ

Д.М. Безматерных, О.В. Эйдукайтене

Исследовано видовое разнообразие зообентоса и свободноживущих инфузорий р. Барнаулки, одного из самых консервативных и мобильных элементов гидробиоценоза. Подсчитаны индексы видового разнообразия по Маргалёфу и Шеннону.

Индекс Шеннона по зообентосу на р. Барнаулке в 1997 г. менялся от 0 (в начале апреля) до 1,4 (в начале мая) и от 0 (в устье реки) до 1,5 выше Лесного пруда. Эти значения очень близки к показаниям индекса Маргалёфа по зообентосу (0–1,4 и 0–4 соответственно).

Индекс Шеннона по протозоопланктону на р. Барнаулке в 1997 г. менялся от 0,7 в апреле до 1,8 в сентябре и от 2,5 (в устье реки) до 3,25 выше Лесного пруда. Индекса Маргалёфа по протозоопланктону показал несколько иные значения: 0,25–0,8 и 0,6–0,6 соответственно.

Проблема сохранения биологического разнообразия стала одной из актуальнейших проблем человечества на рубеже XXI в. Выделяют различные уровни оценки биоразнообразия, от молекулярно-генетического до биосферного. Один из самых показательных и важных элементов оценки биоразнообразия – видовое разнообразие.

Предложены десятки индексов оценки видового разнообразия [1; 2, с. 86-98; 3, 4]. Общепринятой точки зрения по поводу того, какая мера разнообразия лучше нет, и ни один из индексов не получил одобрения у большинства экологов. Множество предложенных мер оценки разнообразия затрудняет выбор наиболее подходящего индекса. Мы остановились только на двух индексах: Маргалефа, как наиболее простом в применении и отражающем уровень видового богатства [5] и Шеннона, признанным наиболее чувствительным и отражающим степень выравнивания распределения особей между видами [2].

Материалы и методы. Для оценки антропогенного воздействия на биоразнообразие гидробиоценоза р. Барнаулки нами было изучено видовое разнообразие зообентоса и протозоопланктона, одного из самых консервативных и мобильных элементов гидробиоценоза. Исследования проводились в период с 1996 по 1999 г. Более подробно нами рассмотрен 1997 г. как наиболее репрезентативный по количеству обработанных проб.

Индекс Маргалефа выведен исходя из положения, что с увеличением уровня загрязнения водоема видовое богатство, как правило, падает. Оценка степени загрязнения по видовому разнообразию применима к любым видам загрязнения. Поскольку число видов пропорционально логарифму изученной площади, а общее число особей пропорционально площади, в качестве меры разнообразия принят индекс: $d = (S-1)/\ln n$, где S – число видов, $\ln n$ – натуральный логарифм числа особей. Индекс d принимает максимальное значение, если все особи принадлежат к разным видам ($S=n$) и равен 0, когда все особи принадлежат к одному виду ($S=1$).

Индекс Шеннона заимствован из теории информации и представляет собой формализацию, которая широко используется при оценке сложности и содержания информации любых типов систем, он лучше всего подходит для целей сравнения в тех случаях, когда не интересуют компоненты разнообразия по отдельности. К тому же он не зависит от величины пробы, а также важно то, что численность видов всегда характеризуется нормальным распределением [6]. Немаловажно, что индекс Шеннона придает больший вес редким видам. Он обычно ме-

няется в пределах от 1,5 до 3,5. Индекс Шеннона вычисляется по следующей формуле:

$$\bar{H} = -\sum n_i / N \log(n_i / N),$$

где H – видовое разнообразие в битах; n_i – число особей каждого вида во всех пробах; N – общая численность особей всех видов во всех пробах.

Зообентос. Материалы исследования собирались в 1996–1999 гг., было отобрано 34, 85, 74 и 37 проб соответственно, организовано 4 экспедиции к истокам реки и ее притокам и более 30 рейдовых выездов на 6 постоянных станций отбора проб. Материал собирался и обрабатывался по стандартным гидробиологическим методикам [7; 8, с. 3-19], качественные сборы проводили сачком, количественные сборы – дночерпателем Петерсона с площадью захвата 1/40 м². Грунт, извлеченный дночерпателем, переносили в промывалку, шитую из редкого газа (№25), отмытую часть пробы с оставшимися организмами перекладывали в кюветы. Пробы просматривали по частям, выбирали обнаруженные в ней организмы, переносили их в бутылки и фиксировали 4%-ым формалином. Каждая проба снабжалась этикеткой, на которой указывали дату, номер пробы, глубину, характер грунта, площадь захвата дночерпателя. Для более полного учета видового состава водоема применяли ручной сбор.

Протозоопланктон. Изучение протозоопланктона на р. Барнаулке проводилось в 1995–1998 гг. Было отобрано 29, 23, 52 и 39 проб соответственно. Отбор производили методом простого водозачерпывания тарированной емкостью (объем 1 л). Пробы немедленно доставлялись в лабораторию для определения видового разнообразия и подсчета численности инфузорий в возможно более сжатые сроки. При обработке проб пользовались методикой Н.В. Мамаевой [8]. Видовая принадлежность инфузорий определялась на живом и фиксированном материалах. В качестве фиксаторов и красителей использовали ацетокармин, раствор метилового зеленого, для более точного таксономического определения инфузорий применяли импрегнацию азотокислым серебром. В качестве основного определителя использовали руководство А. Каля [9]. Классификация инфузорий принята по системе Дж. Корлисса [10].

Результаты. Ведущую роль в зообентосе бассейна р. Барнаулки играют хирономиды, олигохеты и моллюски [11, с. 135-146]. Всего было обнаружено 104 вида зообентоса, в том числе Spongia – 1, Bryozoa – 1, Oligochaeta – 9, Hirudinea – 4, Mollusca – 17, Crustacea – 5, Aranei – 2, Collembola – 1, Trichoptera – 3, Ephemeroptera – 4, Odonata –

5, Heteroptera – 8, Coleoptera – 7, Diptera – 37 (из них Chironomidae – 29). Данные по видовой структуре зообентоса использовались нами для биологического анализа качества воды [12, с. 61-63; 13, с. 107-111].

За период исследований в р. Барнаулке был обнаружен 71 вид свободноживущих инфузорий, относящихся к 30 семействам из 13 отрядов [14, с. 127-134]. На протяжении всего периода исследований доминировали типично планктонные виды инфузорий: *Halteria grandinella*, *Cyclidium glaucoma*, *Coleps hirtus*, *Microtorax pusillus*, *Tintinopsis cylendrata*. Абсолютными доминантом по численности на протяжении четырех лет была *Halteria grandinella*, преобладание этого вида характерно для мелководных водоемов с повышенной сапробностью [15]. За период исследований основной вклад в численность протозоопланктона вносили мелкие виды инфузорий (40–80 мкм), что также характерно для рек с высокой трофностью [16, с. 13-14]. Данные по структуре протозоопланктона использовались нами для биоиндикации качества воды [17, с. 256-258; 18, с. 231; 19, с. 375-376].

В течение 1997 г. индекс Маргалефа по зообентосу менялся от 0 в начале апреля до 1,4 в начале мая, затем в середине мая индекс упал до 0,4 (что, вероятно, связано с массовым вылетом имаго хирономид), в июне индекс вновь возрастал до 1–1,1, затем постепенно падал до 0,6 в ноябре (Рис. 1). Кривая индекса Шеннона по зообентосу на графике практически повторяет колебания индекса Маргалефа: от 0 в начале

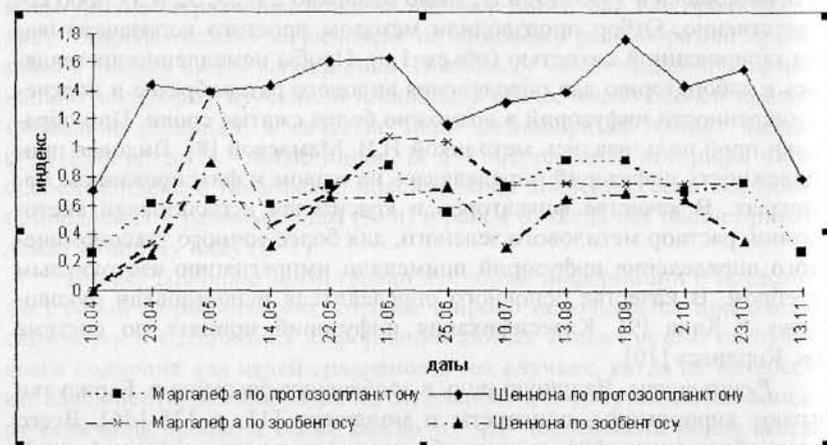


Рис. 1. Временная динамика индексов видового разнообразия по зообентосу и протозоопланктону р. Барнаулки в 1997 г.

апреля до 0,9 в начале мая, затем падение индекса до 0,3 и возрастание до 0,6–0,7 в июне; выделяются еще два периода резкого падения видового разнообразия – в начале июля и в конце ноября.

Индекс Маргалефа по протозоопланктону плавно колебался в течение года от 0,25 до 0,8. При этом выделяется три спада видового разнообразия инфузорий: в начале апреля, в конце июля и в конце ноября. Колебания индекса Шеннона по протозоопланктону практически совпадают с колебаниями индекса Маргалефа, но отличаются большей амплитудой: от 0,7 в апреле до 1,8 в сентябре.

В пространственном отношении индекс Маргалефа по зообентосу менялся на р. Барнаулке в широких пределах от 0 (в устье) до 4 (выше Лесного пруда). При этом четко прослеживалась тенденция уменьшения индекса от истоков к устью. Это может быть объяснено только возрастанием антропогенного воздействия в том же направлении. Самые низкие показатели видовое разнообразие имело в черте Барнаула (от впадения р. Пивоварки до устья), здесь индекс видового богатства не поднимался выше 2 (Рис. 2). Индекс Шеннона по зообентосу в точности повторяет колебания индекса Маргалефа, но с меньшей амплитудой: от 0 в устье до 1,5 выше Лесного пруда.

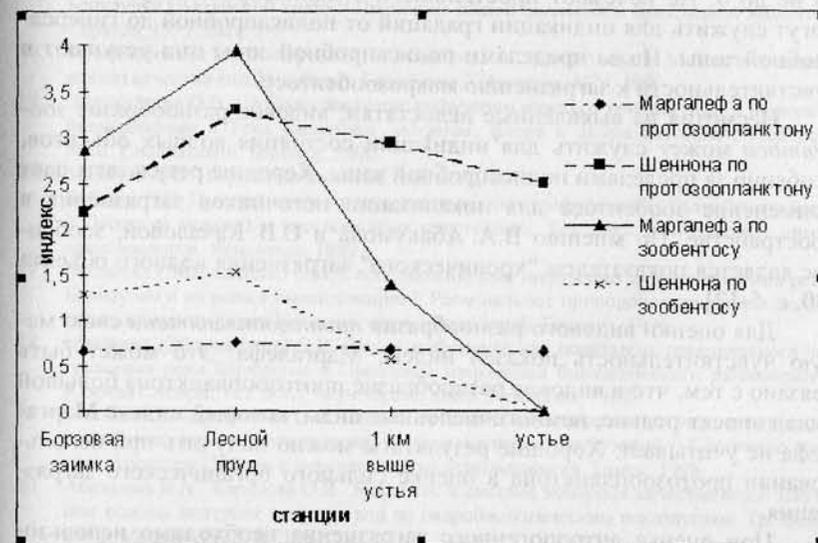


Рис. 2. Динамика изменения индексов видового разнообразия по зообентосу и протозоопланктону р. Барнаулки по станциям отбора проб в 1997 г.

Иные значения дает индекс Маргалефа по протозоопланктону. На всем протяжении реки индекс практически не меняется, равняясь 0,6. Более реальную картину дает индекс Шеннона, его кривая очень похожа на кривые видового разнообразия по зообентосу, но в отличие от них не падает в устье до 0.

Выводы. Анализируя показатели видового разнообразия зообентоса, можно видеть, что в течение года видовое разнообразие зависит от этапов жизненных циклов массовых видов зообентоса. Большое влияние оказывает одновременный вылет имаго амфибиотических насекомых (хирономид), а также сезонный фактор. С концом теплого периода года видовое разнообразие падает, причем иногда до 0. В условиях сильного загрязнения в полисапробной зоне макрозообентос практически полностью исчезает, что не позволяет производить градацию качества воды внутри зоны. Все это осложняет использование видового разнообразия зообентоса для индикации качества водной среды.

Видовое разнообразие протозоопланктона в меньшей степени зависит от сезонных факторов, хотя в холодный период года все же наблюдается некоторое снижение видового разнообразия простейших, но не до 0. Не исчезают простейшие и в полисапробных условиях и могут служить для индикации градаций от полисапробной до гиперсапробной зоны. Но за пределами полисапробной зоны они уступают в чувствительности к загрязнению макрозообентосу.

Несмотря на выявленные недостатки, видовое разнообразие зообентоса может служить для индикации состояния водных объектов, особенно за пределами полисапробной зоны. Хорошие результаты дает применение зообентоса для локализации источников загрязнения в пространстве. По мнению В.А. Абакумова и О.В. Качаловой, зообентос является показателем "хронического" загрязнения водного объекта [20, с. 5-12].

Для оценки видового разнообразия протозоопланктона свою малую чувствительность показал индекс Маргалефа. Это может быть связано с тем, что в видовое разнообразие протозоопланктона большой вклад вносят редкие, немногочисленные виды, который индекс Маргалефа не учитывает. Хорошие результаты можно получить при использовании протозоопланктона в оценке сильного органического загрязнения.

При оценке антропогенного загрязнения необходимо использовать различные подходы в оценке видового разнообразия (индексы, оценивающие как видовое богатство, так и степень выравненности рас-

пределения особей между видами) и различные группы гидробионтов с длительным и коротким жизненными циклами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мэгарран Э. Экологическое разнообразие и его измерение. М., 1992.
2. Терещенко В.Г., Терещенко Л.И., Сметанин М.М. Оценка различных индексов для выражения биологического разнообразия сообщества // Биоразнообразие. Степень таксономической изученности. М., 1994.
3. Константинов А.С. Общая гидробиология. М., 1979.
4. Макрушин А.В. Биологический анализ качества вод / Под ред. Г.Г. Винберга. Л., 1974.
5. Чернышев В.Б. Экология насекомых. М., 1996.
6. Одум Ю. Экология: В 2-х т., М., 1986. Т. 1.
7. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. М., 1975.
8. Соколова Н.Ю., Баканов А.И. Методика количественного учета и пространственного распределения бентоса (хирономид) // Методическое пособие по изучению хирономид. Душанбе, 1982.
9. Kahl A. Die Tierwelt Deutschlands. Iena, 1930-1935.
10. Corliss J.O. The ciliated Protozoa (Characterisation, Classification and Guide to the Literature). Oxford, 1979.
11. Безматерных Д.М., Мисейко Г.Н. Зообентос // Река Барнаул: экология, флора и фауна бассейна / Под ред. М.М. Силантьевой. Барнаул, 2000.
12. Безматерных Д.М., Мисейко Г.Н. Зообентос как биоиндикатор качества вод реки Барнаулки (Алтайский край) // Проблемы общей биологии и прикладной экологии. Саратов, 1997. Вып. 2-3.
13. Безматерных Д.М., Жихарева О.Н., Мисейко Г.Н., Силантьева М.М. Биологический анализ качества вод бассейна р. Барнаулки // Известия АГУ. 1999.
14. Эйдукайтене О.В. Свободноживущие инфузории нижнего течения реки и их роль в биоиндикации // Река Барнаул: экология, флора и фауна бассейна / Под ред. М.М. Силантьевой. Барнаул, 2000.
15. Мамаева Н.В. Инфузории бассейна Волги. Л., 1979.
16. Бойкова Э.Е. Простейшие и их роль в повышении трофности вод Балтийского моря // Экология морских и пресноводных простейших: Тез. докл. 2-го Всесоюз. симп. протозоологов. Ярославль, 1989.
17. Матвеева (Эйдукайтене) О.В. Свободноживущие инфузории нижнего течения реки Барнаулки и их роль в биоиндикации // Региональное природопользование и экологический мониторинг: Тез. докл. науч.-практ. конф. Барнаул, 1996.
18. Матвеева (Эйдукайтене) О.В. Фауна инфузорий как показатель органического загрязнения реки Барнаулки // Проблемы сохранения биологического разнообразия Южной Сибири: Тез. докл. науч.-практ. конф. Кемерово, 1997.
19. Матвеева (Эйдукайтене) О.В. Оценка органического загрязнения нижнего течения реки Барнаулки с использованием свободноживущих инфузорий // Состояние водных экосистем Сибири и перспективы их использования. Томск, 1998.
20. Абакумов В.А., Качалова О.В. Зообентос в системе контроля качества вод // Научные основы контроля качества вод по гидробиологическим показателям: Тр. Всес. конф. Москва, 1978. Л., 1981.