

ФАРМАКОГНОЗИЯ И БОТАНИКА

Г.Н. Бузук, О.В. Созинов¹

ФИТОИНДИКАЦИЯ: ПРИМЕНЕНИЕ РЕГРЕССИОННОГО АНАЛИЗА

Витебский государственный
медицинский университет

¹Гродненский государственный
университет им. Я. Купалы

Предложен новый алгоритм определения экологического пространства растительных сообществ, основанный на использовании регрессионного анализа и диапазонных экологических шкал Д.Н.Цыганова. Алгоритм реализован в виде рабочего листа к Excel 2007.

Индикация - это, когда мы смотрим на то, что видим, и видим то, что не видим. Такое неофициальное, но принципиально верное определение сущности индикации любил повторять один из основоположников индикационной геоботаники С.В. Виктор [1].

Б.В. Виноградов в книге "Растительные индикаторы и их использование при изучении природных ресурсов" главу "Основы теории и практики растительных индикаторов" начал следующим определением: "Растительными индикаторами могут служить как отдельные растения и фитоценозы, так и особенности строения и состава растений, которые в силу тесной их связи с различными элементами ландшафта указывают на характер, распределение и динамику условий окружающей среды" [2, с. 5].

Со своей стороны Б.А. Быков [3] в Геоботаническом словаре дает такие определения: "Индикаторы — растения, определяющие условия внешней среды" и "Индикационная геоботаника — раздел геоботаники, изучающий фитоценологические основы и практические способы использования растительного покрова, как показателя условий внешней среды. Во "Введении и фитоценологии" Быков [4] говорит о фитоценоиндикации.

А.А. Корчагин [5] предлагал особо выделять геоботаническую индикацию, биогеохимическую индикацию, флористическую индикацию и т.д., а для совокупности всех этих форм индикации применять объединяющий их термин — фитоиндикация, или ботаническая индикация. Там же он писал, что фитоиндикация не имеет своего особого фитоиндикационного метода, своего предмета, а потому не может рассматриваться как особая наука; что теоретической базой ее являются различные разделы ботаники, но особое значение имеет экология растений; что успехи фитоиндикации и уровень ее исследования зависят от успехов разработки теоретических вопросов геоботаники, экологии, морфологии и других разделов ботаники. Наконец, в очень конспективной, хотя и несколько узкоспециализированной, современной сводке "Фитоценология" индикация трактуется, как "определение по растительности дискретных классов среды" [6].

Резюмируя изложенное выше, фитоиндикацию охарактеризуем как раздел экологии растений, включая и аутэкологию, и синэкологию, имеющий задачей в прикладных целях конкретизировать связь определенных ботанических объектов (видов, сообществ, экологических групп видов, морфофизиологических состояний индивидов в популяциях и г.п.) с определенными качественными и количественными параметрами состояния среды, включая как косную, так и биотическую ее часть.

В настоящее время фитоиндикация приобретает все большее значение, когда необходимо определить режимы действия на растения таких факторов среды, как увлажнение, минеральное питание, освещенность, температура и др. Такая информация наиболее важна как в академических науках — геоботанике, синэкологии, дэмэкологии, так и в прикладных исследованиях в области сельского и лесного хозяйств, а также для фармакогнозии и ресурсоведения.

Фитоиндикация становится незаменимым методом в случаях, когда прямое измерение режимов либо чрезвычайно сложно, трудоемко, либо невозможно. Как отмечал В.И. Василевич, «режим местообитания является в принципе бесконечномерной величиной, т. е. абсолютно полная характеристика его содержит бесконечно большое число признаков» [7, с. 197]. В то же время «естественная растительность и почва в своих признаках подытоживают местные условия за более или менее длинный ряд лет» (Раменский, 1938) [4] и потому «единственным прямым и достоверным оценщиком экологических условий является сама растительность» (Раменский, 1952, цит. по [4]).

Основой индикации на фитоценологическом уровне являются экологические характеристики видов. Экологическая характеристика вида может быть дана раз-

ными способами. Рассматривая экологические (эколого-физиологические) типы растений, пользуются названиями мезофиты, ксерофиты, гигрофиты и т. п., которыми обозначен их уровень адаптации к определенным экологическим режимам местообитаний. Например, ксерофиты адаптированы к недостатку влаги и приурочены к сухим местообитаниям. Гигрофиты, напротив, засухи не выносят и произрастают на влажных и сырых местообитаниях. Несколько детализируя такие характеристики, выделяют промежуточные экологические группы (экоморфы), например, по уровню увлажнения: мезоксерофиты и ксеромезофиты, или мезогигрофиты и гигромезофиты.

Простая операция замены громоздких названий числовыми рядами (ее идея предложена Иверсеном в 1936 г.) [4] дает большие возможности фитоиндикации.

Таблица 1 - Характеристика экологических шкал [13]

Признаки	Экологические шкалы			
	Раменский, 1956	Элленберг, 1974	Ландольт, 1977	Цыганов, 1983
Общее число видов	1419	2494	3411	2304
Число шкал	5	6	8	10
Тип шкал	диапазонные	точечные	точечные	диапазонные
<i>Число градаций в шкалах</i>				
увлажнения почв	120	12	5	23
богатства почв азотом	-	9	5	11
трофности почв (богатства-засоления почв)	30	-	5	19
кислотности почв	-	9	5	13
степени гранулированности почв (мехсостав)	-	-	5	-
переменности увлажнения почв	20	-	-	11
пастбищной дигрессии почв	10	-	-	-
аллювиальности почв	10	-	-	-
освещенности/затенения	-	9	5	9
термоклиматическая	-	9	5	17
континентальности климата	-	9	5	15
аридности/гумидности климата	-	-	-	15

Оценив баллами отношение видов растений к отдельным экологическим факторам, можно вычислять средние числа

(баллы) для всего видового состава растительных сообществ и, таким образом, находить положение сообществ, называемого

экологическим пространством, на шкалах факторов. Это позволяет сравнивать растительные сообщества между собой, проводить их ординацию по экологическим градиентам и, наконец, количественно характеризовать местообитания, где эти сообщества описаны.

Наиболее популярными в геоботанических исследованиях Восточной Европы являются экологические шкалы Л.Г.Раменского (Раменский и др., [8] и Д.Н. Цыганова [9], а также западноевропейские шкалы Г. Эленберга (Ellenberg, [10,11] и Э. Ландольта (Landolt, [12]) (табл.1).

Индикация окружающей среды, а точнее ее растительного покрова производится на основании изучения свойственных для этой среды растений-индикаторов. Изучая растения – индикаторы, мы выявляем амплитуды их толерантности к среде, как показатели условий внешней среды.

Объединение видов со сходными характеристиками толерантности в отношении тех или иных экологических факторов получили название экоморфы, т. к. близость пределов нормы реакции отнюдь не обязательно сопровождается морфологическим сходством.

Именно такой принцип и был заложен в основу фитоиндикации Д. И. Цыганова. Им разработана система экоморф, основанная на учете полных экологических амплитуд видов. В книге «Фитоиндикация экологических режимов в подзоне хвойно-широколиственных лесов» [13] приведены таблицы амплитуд толерантности более 2000 видов по отношению к 10 экологическим режимам. В пределах каждого режима им выделены типы, а на их основании экологические свиты и соответствующий усредненный балл амплитуды толерантности. Последний необходимо учитывать при фитоиндикации экологических режимов методом нахождения усредненного балла.

При использовании *точечных шкал* итоговая балловая оценка по экологическому фактору вычисляется как среднее значение из балловых оценок всех видов сообщества по данному фактору, взвешенное на обилие (как правило, в виде

проективного покрытия) видов включая индикаторную ценность видов (по шкалам Ландольта и Эленберга). По *диапазонным экологическим шкалам* расчет осуществляется следующими способами: 1) по экстремальным границам; 2) пересечения большинства интервалов; 3) средневзвешенной середины интервала. Два первых способа используются при расчетах по шкалам Раменского, а третий - по шкалам Цыганова. Шкалы с небольшим числом градаций лучше использовать для анализа крупных и весьма неоднородных выборок. Чем больше градаций содержит шкала, тем детальнее дифференцируются местообитания.

Методика классических расчетов экологических режимов в фитоценозах по Д.Н. Цыганову заключается в следующем.

Первоначально снимают проективное покрытие в пределах пробной площади, заложенной в исследуемой ассоциации. Далее по каждому виду находят среднее проективное покрытие.

При использовании точечных шкал значение экологического параметра рассчитывают как среднее от произведения значения шкалы видов на проективное покрытие (т.е. взвешенное или скорректированное на обилие видов местообитания). Пример расчета приведен ниже (табл. 2). В методике Д.Н. Цыганова используются 2 таблицы: экологических амплитуд видов и шкал факторов [8, 13].

Балл условно оптимального типа режима вида находят по шкале факторов, как среднее из минимума и максимума амплитуды толерантности исследуемого растения к данному фактору. Для этого по соответствующей таблице экологических амплитуд видов находят вид той ассоциации, исследованием которого занимаются, и находят характерную для него экологическую формулу.

Экологическая формула каждого вида приведена по 10 экологическим факторам. Например, экологическая формула лещины (*Coryllus avellana*): термоморфа ВМ, контрастоморфа ОМ, омброморфа ЕН, криоморфа LG, гидроморфа SF, трофоморфа +МЕ, ацидоморфа af, нитроморфа jп, гидроконтрастоморфа +rs, гелиоморфа

+SS. Знак + означает, что с этой стороны амплитуда заканчивается режимом, промежуточным между обозначенным буквой

и предшествующим ему или следующим за ним на шкале фактора.

Таблица 2 – Исходные данные для примера расчета экологических режимов методом точечных шкал

Вид	Проективное покрытие, %	HD	NT
<i>Molinia caerulea</i>	40	11	1
<i>Calamagrostis arundinacea</i>	30	7	3
<i>Calluna vulgaris</i>	5	9	1
<i>Melampyrum pratense</i>	1	9	1
<i>Lycopodium clavatum</i>	1	9	1
<i>Pteridium aquilinum</i>	15	9	1
<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	2	10	1
<i>Vaccinium myrtillus</i>	2	10	1
Сумма	96	-	-

$$HD = (40 \cdot 11 + 30 \cdot 7 + 5 \cdot 9 + 1 \cdot 9 + 1 \cdot 9 + 15 \cdot 9 + 2 \cdot 10 + 2 \cdot 10) / 96 = 13,28$$

$$NT = (1 \cdot 40 + 3 \cdot 30 + 5 \cdot 1 + 1 \cdot 1 + 1 \cdot 1 + 15 \cdot 1 + 2 \cdot 1 + 2 \cdot 1) / 96 = 1.63$$

В соответствии со шкалами факторов находили баллы, при этом по каждому фактору берем значения границ амплитуды толерантности вида по данному фактору: например по температурному режиму крайние границы толерантности равны 5 и 13 баллам. Соответственно расчет идет как среднеарифметическое суммы баллов. $(5 + 13) / 2 = 9$, для контрастоморфы $(3 + 9) / 2 = 6$, для омброморфы - $(9 + 15) / 2 = 12$, для криоморфы - $(3 + 9) / 2 = 6$, для гидроморфы - $(6 + 16) / 2 = 11$, для тропоморфы - $(4 + 9) / 2 = 6,5$ (или 6-7), для ацидоморфы - $(1 + 11) / 2 = 6$, для нитроморфы - $(1 + 9) / 2 = 5$, для гидроконтраморфы - $(4 + 8) / 2 = 6$, для гелиоморфы - $(2 + 9) / 2 = 5,5$ (или 5 - 6). По найденному баллу каждого экологического фактора судят о типе экологического режима для данного вида в данной ассоциации.

Для определения значения конкретного экологического фактора всей ассоциации находят среднее арифметическое суммы баллов всех видов ассоциации по данному фактору [8].

Нами предложен новый способ оценки экологического пространства местообитаний, основанный на применении регрессионного анализа и диапазонных шкал Д.Н.Цыганова.

Регрессионный анализ является одним из наиболее распространённых методов обработки результатов наблюдений при изучении зависимостей в физике, биологии, экономике, технике и др. областях. Задача регрессионного анализа состоит в построении модели, позволяющей по значениям независимых показателей получать оценки значений зависимой переменной. Регрессионный анализ является одним из основных средств исследования зависимостей между эколого-биологическими переменными. Специфика фитохимических исследований состоит в том, что очень часто необходимо исследовать и прогнозировать содержание биологически активных веществ в лекарственном сырье. Регрессионное моделирование позволяет установить лишь уровень изучаемых показателей, соответствующий выбранным факторам. Но так как практически трудно выделить все факторы, то отклонения фактических значений анализируемых показателей от расчетных можно объяснить действием неучтенных факторов. Включение большего количества факторов в модель значительно повышает ее адекватность [13]. Важным достоинством регрессионного анализа является то, что он применим и при отсутствии нормального распределе-

ния параметров, характеризующих изучаемые факторы.

Суть предложенного нами способа заключается в ранжировании диапазонов экологических факторов видов местообитания и расчете регрессии для верхнего и нижнего диапазонов значений баллов факторов относительно их диапазона. Обработка данных осуществляли в пакете Excel 2007 и STATISTICA в модуле Multiple Regression.

Данный подход проиллюстрирован на конкретных примерах. На рис. 1 представлен график ранжированных по вели-

чине диапазонов влажности (HD2-HD1) видов растений местообитания, который фактически является иллюстрацией их стенотопности. Чем меньше эта величина, тем более точно наличие определенного вида характеризует биотоп. Через точки верхнего и нижнего диапазона толерантности растений к водному режиму местообитания нами проведены усредненные прямые, которые пересекаются в определенной точке. Эта точка и есть характеристика, в данном случае, уровня влажности местообитания.

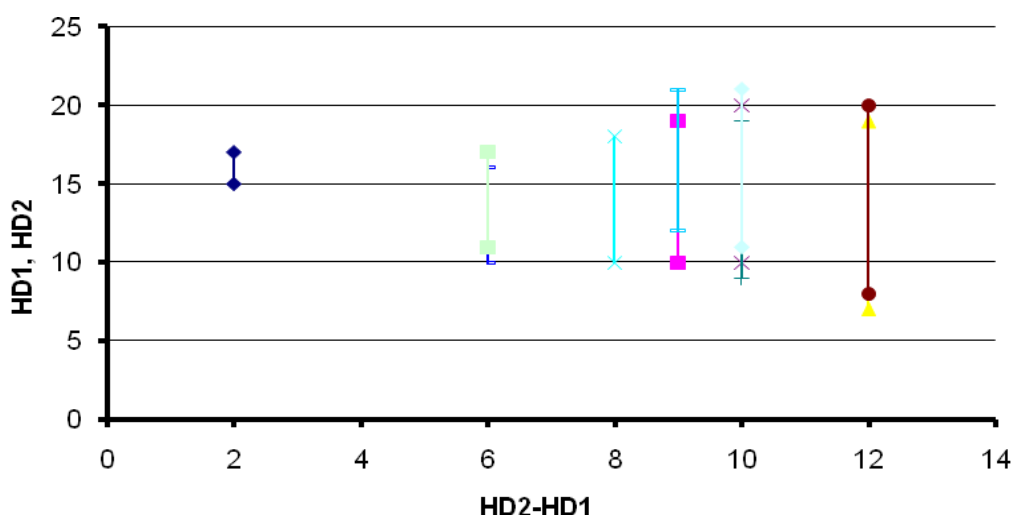


Рис. 1. Верхний (HD2) и нижний (HD1) диапазон влажности местообитания, ранжированный по величине их разности (HD2-HD1).

Как известно, наиболее точным способом нахождения прямых такого рода является линейный регрессионный анализ с использованием метода наименьших квадратов. Соответствующие результаты регрессионного анализа данных, представленных на рис. 1, приведены на рис. 2. Как и ожидалось, обе прямые, проведенные через верхний и нижний диапазоны фактора, пересекаются на оси ординат в одной точке. Эта величина равная свободному члену обеих уравнений регрессии и является характеристикой местообитания по исследуемому фактору влажности. Определенный экологический смысл, на наш взгляд, имеет угол наклона прямых, для оценки которого, однако, необходимы дальнейшие исследования.

В качестве примера использования регрессионного метода в фитоиндикации мы приводим данные, полученные при характеристике лесного биотопа (осиново-сероольшаника). В табл. 3 представлен видовой состав фитоценоза с диапазоном экологических факторов шкал по Д.Н. Цыганову. Результаты регрессионного анализа приведены в табл. 4 и для наглядности на рис. 3.

Применение математико-статистического анализа позволяет не только оценить величину фактора для данного местообитания, но и определить его значимость на 0,05 доверительном уровне, верхний (95% L) и нижний (95% U) доверительные интервалы для коэффициентов регрессии, а также коэффициент детерминации (R^2), характеризующий силу связи.

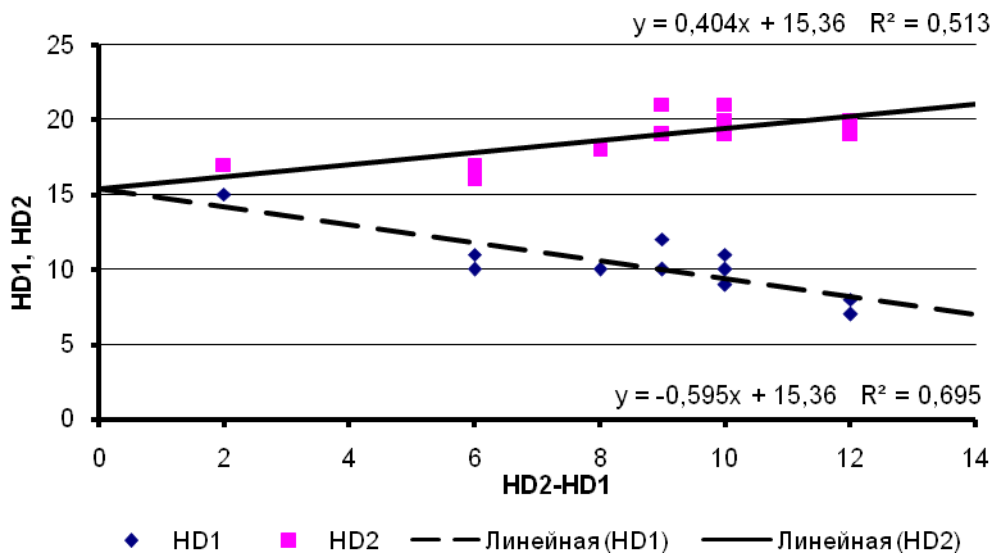


Рис. 2. Уравнения регрессии верхнего (HD2) и нижнего (HD1) диапазонов влажности видов местообитания, ранжированных по величине их разности (HD2-HD1).

Данный показатель весьма сильно отличается для верхнего и нижнего диапазонов исследованных факторов, что представляет значительный интерес, поскольку указывает на их лимитирующее значение.

Для сравнения мы приводим данные по характеристике экологического

пространства местообитания, полученные классическим способ расчета (по Д.Н. Цыганову) и с помощью регрессионного анализа. Выявлено, что они по ряду параметров дают близкие результаты (TM, OM, HD), в то время как по другим отличаются значительно (KN, CR, NT, RC) (рис. 4).

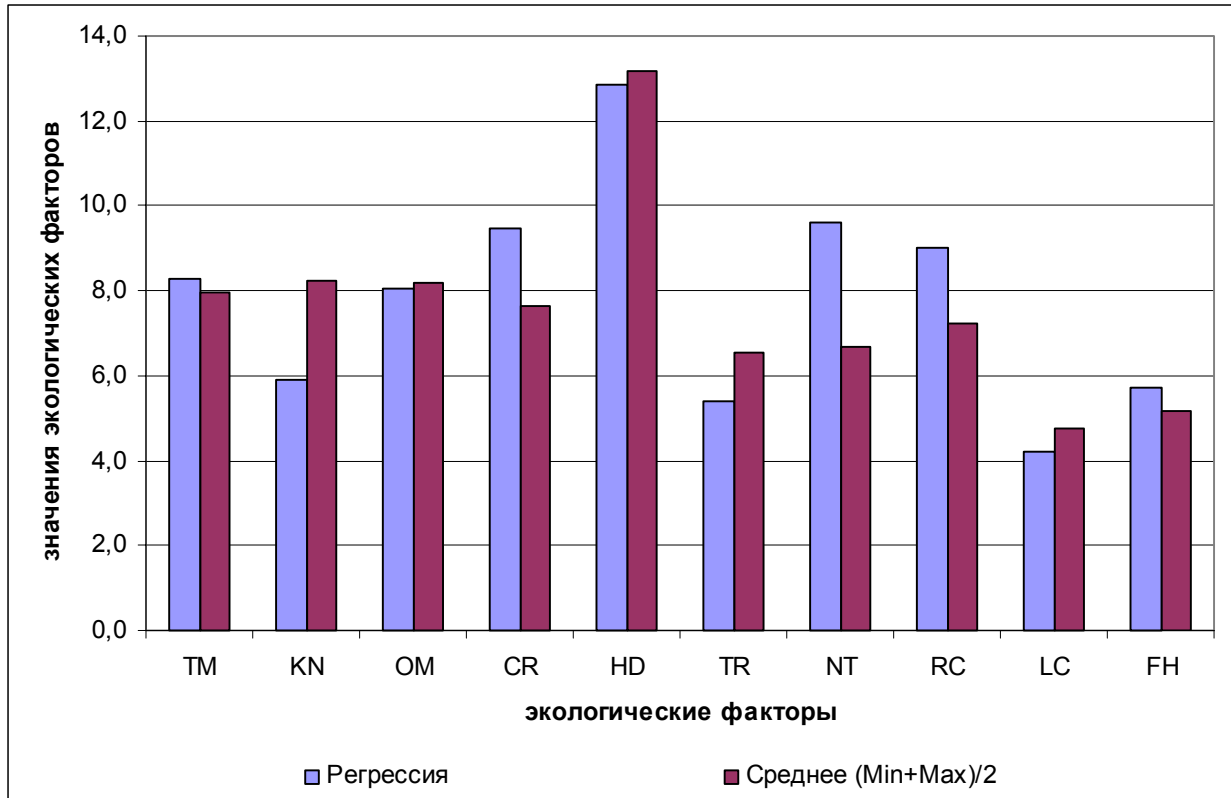


Рис. 4. Сравнительная характеристика экологического пространства модельного лесного фитоценоза классическим и регрессионным способами

Нами разработан в программе Excel 2007 алгоритм регрессионного анализа, позволяющий ускорить расчеты по экологическим шкалам Цыганова Д.Н., а также визуализировать уравнения регрессии (рис. 3, 5). Для выявления значений экологических факторов необходимо только внести в таблицу «Исходные данные» параметры толерантности всех видов растений изученного фитоценоза к конкретным факторам. Дальнейшая обработка материала происходит автоматически, включая и графическое изображение.

Таким образом, использование статистических методов в фитоиндикации повышает точность и объективность данных по экологическим режимам в конкретных фитоценозах.

Результаты данной работы могут применяться в области краткосрочного и долгосрочного прогнозирования для решения задач совершенствования устойчивого использования растительных ресурсов, геоботаники, экологии растений. Данную работу рационально использовать для дальнейшего совершенствования методологии фитоиндикации экологического пространства биоценозов, прогнозирования, распространения и совершенствования имеющихся и разработки новых методов, применяемых при биологическом прогнозировании.

SUMMARY

G.N. Buzuk, O.V. Sozinov

FITOINDICATION: APPLICATION OF REGRESSION ANALYSIS

The new algorithm of definition of ecological space of the vegetative communities, based on use of regression analysis and D.N.Tsyganova's band ecological scales is offered. The algorithm is realized in the form of worksheets to Excel 2007.

ЛИТЕРАТУРА

1. Викторов, С.В. Индикационная геоботаника / С.В. Викторов, Г.Л. Ремезова // М.: Изд. Московского университета, 1988. – 168 с.
2. Виноградов, Ю.В. Растительные индикаторы и их использование при изучении

природных ресурсов / Ю.В. Виноградов // М. 1964. – 328 с.

3. Быков, Б. А. Геоботанический словарь / Б. А. Быков // Алма-Ата: Наука, 1973. – 214 с.

4. Быков, Б.А. Введение в фитоценологию / Б.А. Быков // Алма-Ата: Наука, 1970. – 230 с

5. Корчагин, А. А. Использование растительных сообществ как индикаторов среды / А. А. Корчагин // В кн.: Теоретические вопросы фитоиндикации. – Л.: Наука, 1971. – С.7–15.

6. Миркин, Б. М. Фитоценология: Принципы и методы / Б. М. Миркин, Г. С. Розенберг // М.: Наука, 1978. – 212 с.

7. Василевич, В. И. Очерки теоретической фитоценологии / В. И. Василевич // Л.: Наука, 1983. – 248 с.

8. Раменский, Л.Г. Экологическая оценка кормовых угодий по растительному покрову / Л.Г. Раменский, И.А. Цаценкин, О.Н., Чижиков, Н.А. Антипов // М.: Сельхозгиз. 1956. – 472 с.

9. Цыганов, Д.Н. Фитоиндикация экологических режимов в подзоне хвойно-широколиственных лесов / Д.Н. Цыганов // М.: Наука. 1983. – 196 с.

10. Ellenberg, H. Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer, dynamischer und historischer Sicht / H. Ellenberg // 5. Aufl. Ulmer. – Stuttgart. 1996. – 1096 s.

11. Ellenberg H. Zeigerwerte der Gefasspflanzen Mitteleuropas / H. Ellenberg // Göttingen: Goltze. 1974. 97 s.

12. Landolt, E. Ökologische Zeigerwerte zur Schweizer Flora / E. Landolt // Veröff. Geobot. Inst. ETH. – Zurich. 1977. H.64. – S. 1-208.

13. Ханина, Л.Г. Характеристика экологических шкал / Л.Г. Ханина // Ценофонд лесов Европейской России. Режим доступа <http://mfd.cepl.rssi.ru/flora/ecoscale.htm>.

14. Себер, Дж. Линейный регрессионный анализ. / Дж. Себер, пер. с англ. В.П. Носко. // М.: Издательство "Мир", 1980. – 456 с.

Поступила 25.08.2007г.

Таблица 3 - Диапазон значений экологических амплитуд для видов растений лиственного леса

Вид растения	Экологические факторы																			
	TM1	TM2	KN1	KN2	OM1	OM2	CR1	CR2	HD1	HD2	TR1	TR2	NT1	NT2	RC1	RC2	LC1	LC2	FH1	FH2
<i>Populus tremula</i> L.	4	12	3	15	6	11	1	12	9	19	2	11	1	10	1	13	1	6	0	0
<i>Alnus incana</i> (L.) Moench	3	10	5	12	7	10	5	10	11	19	1	9	1	9	7	11	1	7	3	5
<i>Padus avium</i> Mill.	4	12	3	13	6	11	3	11	11	19	3	11	4	9	5	11	1	8	0	0
<i>Quercus robur</i> L.	6	12	4	12	6	11	6	11	8	17	4	11	1	9	1	13	1	8	1	7
<i>Padus avium</i> Mill.	4	12	3	13	6	11	3	11	11	19	3	11	4	9	5	11	1	8	0	0
<i>Corylus avellana</i> L.	5	14	3	14	4	11	6	13	6	16	4	9	1	9	1	11	2	8	0	0
<i>Rubus idaeus</i> L.	4	12	3	15	5	11	5	11	11	19	3	9	5	11	1	11	1	9	0	0
<i>Corydalis solida</i> (L.) Clairv.	4	12	3	13	4	11	5	11	11	15	3	9	6	10	5	11	4	9	0	0
<i>Anemoides nemorosa</i> (L.) Holub	5	11	3	11	7	11	7	11	9	17	3	9	1	9	5	10	1	5	0	0
<i>Stellaria holostea</i> L.	4	12	3	12	5	11	4	11	10	18	3	15	3	9	5	13	2	8	3	7
<i>Ficaria verna</i> Huds.	4	11	3	13	5	11	5	11	9	15	5	11	5	11	3	13	1	6	0	0
<i>Anthriscus sylvestris</i> (L.) Hoffm.	3	10	3	12	5	10	6	10	9	15	5	9	7	10	1	11	1	7	5	7
<i>Galeobdolon luteum</i> Huds.	5	12	3	12	5	11	6	12	9	15	3	9	3	9	5	11	3	9	0	0
<i>Equisetum sylvaticum</i> L.	2	12	3	15	5	15	1	11	11	17	1	8	3	7	1	7	4	9	3	7
<i>Adoxa moschatellina</i> L.	2	14	3	14	5	11	1	13	11	15	5	9	7	10	6	10	4	9	0	0
<i>Chelidonium majus</i> L.	4	12	3	15	5	11	1	12	7	15	4	9	7	10	1	11	1	5	0	0
<i>Asarum europaeum</i> L.	6	12	5	11	7	9	5	10	11	15	3	9	5	9	7	11	4	9	0	0
<i>Urtica dioica</i> L.	3	13	3	15	3	12	1	13	7	19	3	9	5	11	1	11	1	8	5	9

Экологические шкалы: термоклиматическая (TM); континентальности климата (KN); аридности/гумидности климата (OM); криоклиматическая (CR); увлажнения почв (HD); трофности почв ((TR); богатства почв азотом (NT); кислотности почв (RC); освещенности/затенения (LC); переменности увлажнения почв (FH); минимальное значение (TM1); максимальное значение (TM2).

Таблица 4 - Диапазон значений регрессионных статистик экологических шкал видов растений

Параметры регрессии	Экологические факторы																			
	TM1	TM2	KN1	KN2	OM1	OM2	CR1	CR2	HD1	HD2	TR1	TR2	NT1	NT2	RC1	RC2	LC1	LC2	FH1	FH2
Const	8,27	8,27	5,92	5,92	8,05	8,05	9,45	9,45	12,8	12,8	5,39	5,39	9,59	9,59	9,02	9,02	4,20	4,20	0,33	0,33
Se	0,20	0,20	0,12	0,12	0,16	0,16	0,18	0,18	0,34	0,34	0,25	0,25	0,25	0,25	0,31	0,31	0,31	0,31	0,32	0,32
t exp	41,33	41,33	50,58	50,58	50,48	50,48	53,86	53,86	37,9	37,9	21,3	21,3	37,87	37,8	29,45	29,45	13,56	13,56	1,02	1,02
P	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,32	0,32
95% L	7,84	7,84	5,67	5,67	7,71	7,71	9,08	9,08	12,15	12,15	4,86	4,86	9,05	9,05	8,38	8,38	3,54	3,54	-0,35	-0,35
95% U	8,69	8,69	6,17	6,17	8,39	8,39	9,82	9,82	13,59	13,59	5,93	5,93	10,13	10,13	9,67	9,67	4,86	4,86	1,02	1,02
Coef b	-0,54	0,46	-0,27	0,73	-0,48	0,52	-0,75	0,25	-0,46	0,54	-0,33	0,67	-1,02	-0,02	-0,73	0,27	-0,40	0,60	0,64	1,64
Se	0,03	0,03	0,01	0,01	0,03	0,03	0,02	0,02	0,05	0,05	0,04	0,04	0,05	0,05	0,04	0,04	0,06	0,06	0,15	0,15
t exp	-19,34	16,66	-20,43	56,00	-16,06	17,73	-29,97	10,25	-9,27	11,07	-7,97	16,32	-21,52	-0,33	-17,53	6,49	-6,76	10,14	4,32	11,08
P	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
95% L	-0,60	0,40	-0,30	0,70	-0,54	0,46	-0,80	0,20	-0,56	0,44	-0,42	0,58	-1,12	-0,12	-0,82	0,18	-0,53	0,47	0,32	1,32
95% U	-0,48	0,52	-0,24	0,76	-0,41	0,59	-0,69	0,31	-0,35	0,65	-0,24	0,76	-0,92	0,08	-0,64	0,36	-0,27	0,73	0,95	1,95
n	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Corr	-0,73	0,68	-0,74	0,95	-0,82	0,85	-0,95	0,71	-0,61	0,67	-0,54	0,79	-0,89	-0,03	-0,86	0,53	-0,35	0,49	0,69	0,93
R ²	0,54	0,46	0,54	0,90	0,67	0,72	0,90	0,50	0,37	0,45	0,29	0,63	0,80	0,00	0,74	0,28	0,12	0,24	0,48	0,86
R ² adj	0,51	0,43	0,51	0,89	0,65	0,70	0,89	0,47	0,33	0,42	0,25	0,61	0,79	-0,06	0,73	0,24	0,07	0,19	0,44	0,85
df	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
T (0.05;n-2)	2,12	2,12	2,12	2,12	2,12	2,12	2,12	2,12	2,12	2,12	2,12	2,12	2,12	2,12	2,12	2,12	2,12	2,12	2,12	2,12

Примечание: регрессия $Y = \text{Const} + \text{Coef } b * X$; Se – ошибки коэффициентов регрессии; t exp – коэффициент Стьюдента в эксперименте; P – значимость на 0.05 доверительном уровне; верхний (95% L) и нижний (95% U) доверительные интервалы для коэффициентов регрессии (Const и Coef b), соответственно; Corr – корреляция; R² – коэффициент детерминации; R² adj – скорректированный – коэффициент детерминации; n – число видов местообитания; df – степени свободы; t (0.05;n-2) – коэффициент Стьюдента табличный; остальные обозначения см. выше.

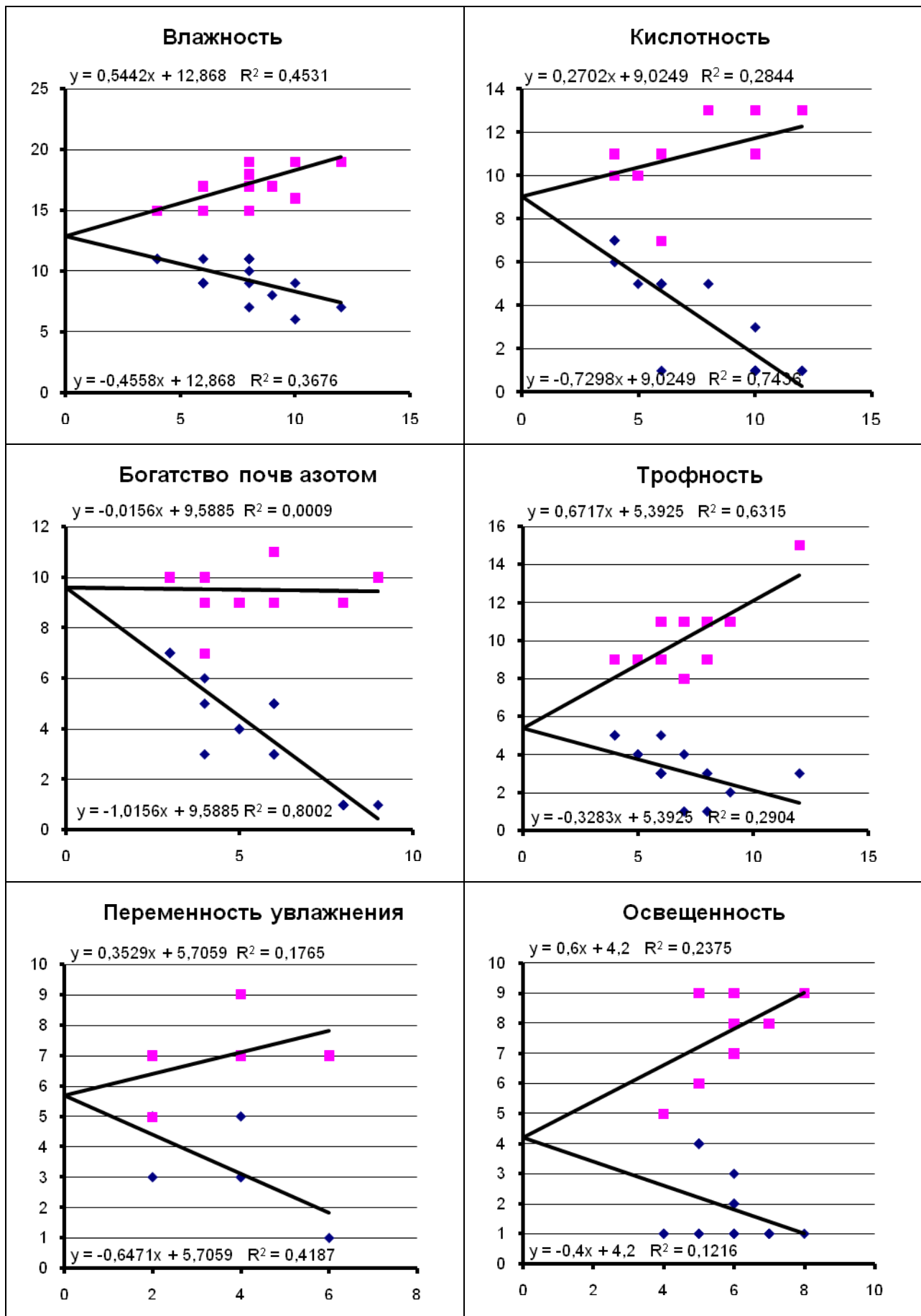


Рис. 3. Регрессионные уравнения и графики анализа экологических факторов

Характеристика местообитания																	
Регрессия																	
TM	KN	OM	CR	HD	TR	NT	RC	LC	FH								
8,3	5,9	8,1	9,5	12,9	5,4	9,6	9,0	4,2	5,7								
Средний ((Max + Min)/2) по факторам среды																	
8,0	8,2	8,2	7,6	13,2	6,5	6,7	7,3	4,8	5,2								
Параметры среды			TM1	TM2	KN1	KN2	OM1	OM2	CR1	CR2	HD1	HD2	TR1	TR2	NT1	NT2	RC1
термоклиматическая	TM	Const	8,27	8,27	5,92	5,92	8,05	8,05	9,45	9,45	12,87	12,87	5,39	5,39	9,59	9,59	9,05
континентальности климата	KN	Se	0,20	0,20	0,12	0,12	0,16	0,16	0,18	0,18	0,34	0,34	0,25	0,25	0,25	0,25	0,3
аридности/гумидности климата	OM	t exp	41,33	41,33	50,58	50,58	50,48	50,48	53,86	53,86	37,97	37,97	21,30	21,30	37,87	37,87	29,4
криоклиматическая	CR	P	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
увлажнения почв	HD	95% L	7,84	7,84	5,67	5,67	7,71	7,71	9,08	9,08	12,15	12,15	4,86	4,86	9,05	9,05	8,3
трофности почв	TR	95% U	8,69	8,69	6,17	6,17	8,39	8,39	9,82	9,82	13,59	13,59	5,93	5,93	10,13	10,13	9,6
богатства почв азотом	NT																
кислотности почв	RC	Coef b	-0,54	0,46	-0,27	0,73	-0,48	0,52	-0,75	0,25	-0,46	0,54	-0,33	0,67	-1,02	-0,02	-0,7
освещенности/затенения	LC	Se	0,03	0,03	0,01	0,01	0,03	0,03	0,02	0,02	0,05	0,05	0,04	0,04	0,05	0,05	0,0
переменности увлажнения почв	FH	t exp	-19,34	16,66	-20,43	56,00	-16,06	17,73	-29,97	10,25	-9,27	11,07	-7,97	16,32	-21,52	-0,33	-17,5
минимальное значений	TM1	P	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,74	0,00
максимальное значение	TM2	95% L	-0,60	0,40	-0,30	0,70	-0,54	0,46	-0,80	0,20	-0,56	0,44	-0,42	0,58	-1,12	-0,12	-0,8
		95% U	-0,48	0,52	-0,24	0,76	-0,41	0,59	-0,69	0,31	-0,35	0,65	-0,24	0,76	-0,92	0,08	-0,6
		Regr stats															
		n	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
		s	0,80	0,80	0,47	0,47	0,64	0,64	0,70	0,70	1,36	1,36	1,01	1,01	1,02	1,02	1,2
		Corr	-0,73	0,68	-0,74	0,95	-0,82	0,85	-0,95	0,71	-0,61	0,67	-0,54	0,79	-0,89	-0,03	-0,8
		R^2	0,54	0,46	0,54	0,90	0,67	0,72	0,90	0,50	0,37	0,45	0,29	0,63	0,80	0,00	0,7
		R^2 ad	0,51	0,43	0,51	0,89	0,65	0,70	0,89	0,47	0,33	0,42	0,25	0,61	0,79	-0,06	0,7
		df	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
		t(0,05;n-2)	2,12	2,12	2,12	2,12	2,12	2,12	2,12	2,12	2,12	2,12	2,12	2,12	2,12	2,12	2,1
Блод строки 36-93			Исходные данные из таблиц Цыганова														
LATSP	CODE	TM_1	TM_2	KN_1	KN_2	OM_1	OM_2	CR_1	CR_2	HD_1	HD_2	TR_1	TR_2	NT_1	NT_2	RC_1	
Populus tremula L.	27002003	4	12	3	15	6	11	1	12	9	19	2	11	1	10		

Рис. 5. Фрагмент рабочего листа с алгоритмом регрессионного и классического анализа по шкалам Д.Н. Цыганова в программе Excel 2007.