

УДК 581.9 (470.40/.43)

САМОПОДОБИЕ ИЗМЕНЕНИЯ НЕКОТОРЫХ ПАРАМЕТРОВ ФЛОРЫ

© 2014 А.В. Иванова, Н.В. Костина, С.А. Сенатор

Институт экологии Волжского бассейна РАН, г. Тольятти (Россия)

Поступила 11.11.2013

Показано подобие изменения различных параметров флоры [таксономической, биоморфологической и флорогенетической (на примере адвентивных видов) структуры] в зависимости от увеличения площади на примере двух территорий. Сформулированы выводы о флористических особенностях этих территорий по компонентам флоры.

Ключевые слова: кривая «число видов - площадь», растительное сообщество, локальная флора, конкретная флора, самоподобие, Самарско-Ульяновское За-волжье.

Ivanova A.V., Kostina N.V., Senator S.A. Self-similarity of change of some flora parameters – The similarity of change of some flora parameters [taxonomic, biomorphological and florogenetic (for example, alien species) structure] depending on the zoom area on the example of two territories are discussed. The conclusions on the floristic characteristics of areas considered are formulated.

Key words: graph "number of species - area", plant community, local flora, concrete flora, self-similarity, Samara-Ulyanovsk Zavolzhye.

Анализ флористического разнообразия и флористической структуры на территориях разного уровня – от локальных (флора окрестностей географического пункта) и региональных флор (бассейн реки, административная единица) до флористических царств – подразумевает рассмотрение целого ряда параметров. В ботанических исследованиях эти параметры основываются на характеристиках, где базовым понятием служит ВИД. Каждый вид имеет таксономическую (систематика), биоморфологическую (шкала жизненных форм), эколого-ценотическую (шкала приуроченности к фитоценозу), флорогенетическую (происхождение) и прочие принадлежности.

Одним из методов выявления флористического разнообразия и его специфики на любой исследуемой территории является изучение зависимости возрастания числа видов от увеличения размеров площади (кривая «число видов - площадь»). Факт, что рост количества встреченных видов происходит медленнее, чем идет увеличение площади, известен давно. Описание этой зависимости приводится в работах Х. Уотсона (1859), О. Аррениуса (1921),

Иванова Анастасия Викторовна, кандидат биологических наук, научный сотрудник, nastia621@yandex.ru; *Костина Наталья Викторовна*, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, knva2009@yandex.ru; *Сенатор Степан Александрович*, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, stsenator@yandex.ru

Г. Глизна (1922) и многих других зарубежных и отечественных исследователей (обзор работ приведен, например: Гелашвили и др., 2004, 2013). В начале хода кривой «виды-площадь» наблюдается резкое возрастание числа видов, замедляющееся при увеличении площади. В дальнейшем, за исключением единичных находок, прирост видов не наблюдается, что соответствует почти горизонтальному направлению хода кривой (так называемая «мертвая зона» или «плато»).

Большой фактический материал по форме вышеуказанной кривой для характеристики разных типов растительности накоплен фитоценологами, выявлены оптимальные размеры пробных площадок описания, основываясь на представлении о «минимум-ареалах» (Миркин, Розенберг, 1978; Миркин, 1986; Миркин, Наумова, 1998; рис. 1). Кривая «виды-площадь» имеет одинаковый вид и для тундры и для луга и для тропического леса (Розенберг и др., 1999, с. 242; Розенберг, 2013, с. 110). В водных сообществах накопление числа видов в зависимости от увеличения площади выглядит схожим образом (рис. 2).

Очевидно, что в зависимости от экологических условий и исторического развития территории, уровень видового богатства (число видов) в отдельных растительных сообществах различен. Например, для пустынной степи он значительно меньше, чем для луговой (см. рис. 1). Следовательно, и число видов на единицу площади в различных растительных сообществах неодинаково (см. Онипченко, 2013, с. 276).

Благодаря развитию понятия «конкретная флора», предложенного А.И. Толмачевым, и внедрению соответствующего метода (Толмачев, 1974, 1986; Юрцев, 1975; Ребристая, 1987), появилась возможность оценить полученные результаты, в том числе по построенным кривым «виды-площадь» (рис. 3).

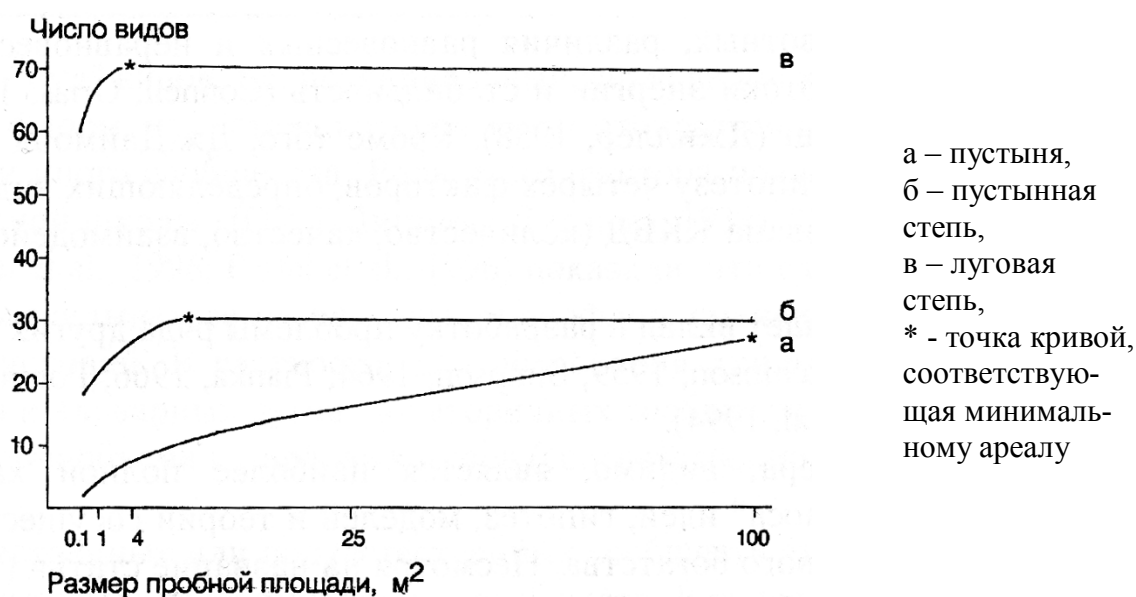


Рис. 1. Кривые «число видов/площадь» (Миркин, Наумова, 1998, с. 157)

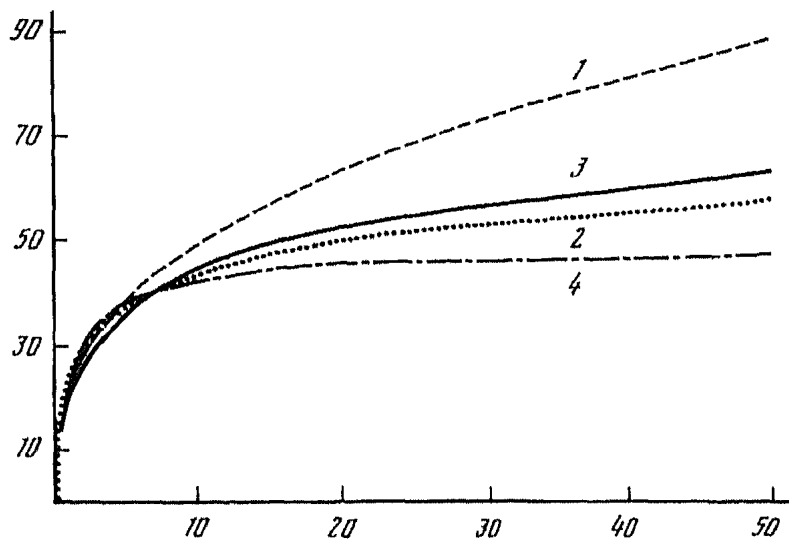
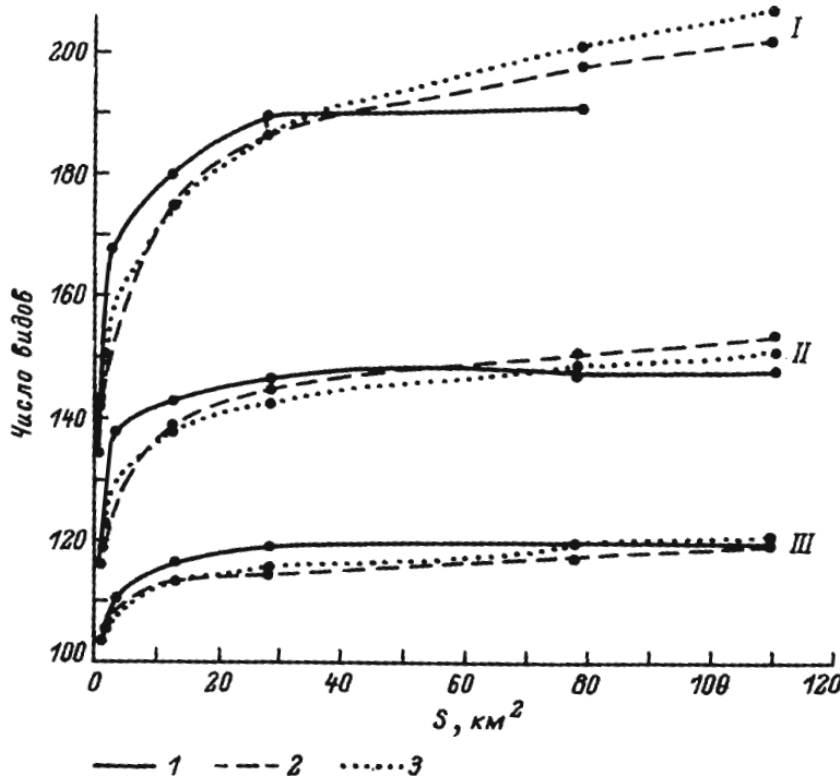


Рис. 2. Зависимость видового богатства от площади местообитания для прибрежных фитоценозов водорослей-макрофитов зал. Посьета (Японское море) (Кафанов, Кудряшов, 2000, с. 95)

Цифрами обозначены кривые, построенные с помощью моделей:
 1 – степенной,
 2 – линейной логарифмической,
 3 – нелинейной логарифмической,
 4 – гиперболической.
 По оси абсцисс – площадь местообитания, m^2 , по оси ординат – число встреченных видов.



Конкретные флоры:
 I - Лаптяяха (южные гипоарктические тундры),
 II – Матюйяха (северные гипарктические тундры),
 III – Верхний Тамбей (арктические тундры)

Рассчитано:
 2 – по уравнению Аррениуса,
 3 – по уравнению Глисона

Рис. 3. Эмпирическое (1) и расчетное (2, 3) число видов на участках различной площади в пределах конкретных флор (Ребристая, 1987, с. 88)

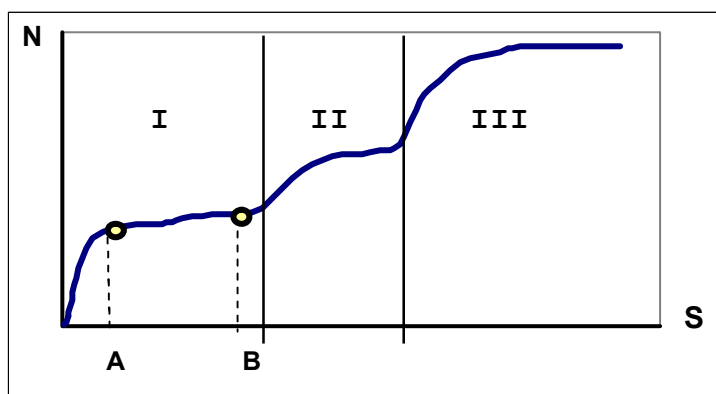
Применение метода конкретных флор заключается в тщательном изучении некоторого(-ых) ключевого(-ых) участка(-ов). После охвата всех местобитаний с характерными для них сообществами, рост числа видов в исследуемой конкретной флоре замедляется.

Кривая «число видов - площадь» служит основой для определения таких важных характеристик, как уровень видового богатства или разнообразия, «минимум-ареал», «максимум-ареал» для отдельных сообществ, или же конкретных флор. Момент замедления соответствует «минимум-ареалу», а появление новых видов растений или исчезновение ранее регулярно встречавшихся, сигнализирует о достижении «максимум-ареала», то есть, полного охвата видового состава изучаемого сообщества или конкретной флоры.

Таким образом, количество видов, характерных для того или иного сообщества, весьма ограничено. Для конкретной флоры ограничено количество экотопов, следовательно, и растительных сообществ.

В случае увеличения площади, когда осуществляется переход из одного растительного сообщества в другое, наблюдается прирост видов и кривая «виды-площадь» приобретает ступенчатый вид (отступление 1).

Отступление 1



Кривая зависимости числа видов (N) от площади (S) с переходом в соседнюю "зону" (I → II → III).

A - площадь "минимум-ареала",
B - площадь "максимум-ареала"

В геоботанических исследованиях обследованная площадь измеряется в десятках и сотнях квадратных метров и под соседней "зоной" понимается переход в другое растительное сообщество.

Во флористике размер участка составляет десятки и сотни квадратных километров, а под соседней "зоной" понимается переход в другую конкретную флору.

При переходе из одной природно-климатической зоны в другую величина изучаемой площади увеличивается на порядок.

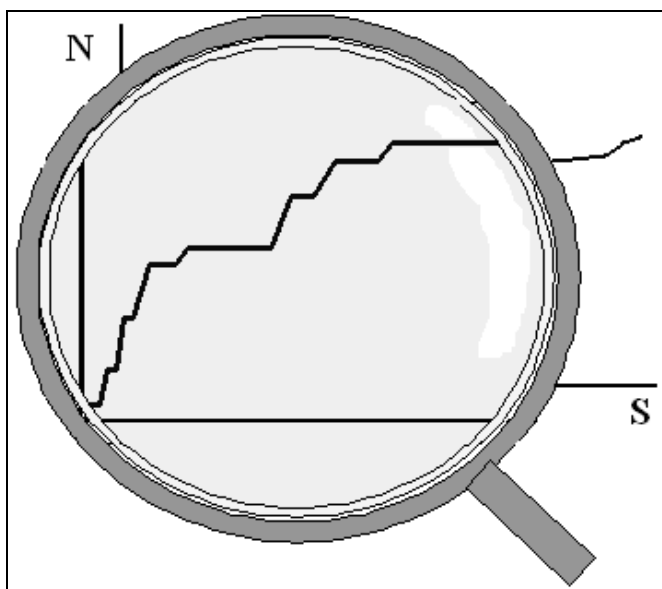
Таким образом, на разных масштабах площади имеем однотипную картину хода кривой зависимости числа видов от площади (масштабная инвариантность).

При исследовании конкретных флор с увеличением площади имеет место накопление не только (и не столько) отдельных видов, но и характерных сообществ. Если при дальнейшем наращивании площади наблюдается значительное увеличение числа видов, это свидетельствует о появлении экотопов, типичных для другой конкретной флоры. Существенный подъем кривой со-

ответствует появлению не встреченных ранее видов, что свидетельствует о переходе в другую «флористическую зону» (Иванова и др., 2006), то есть в другую конкретную флору (отступление 2).

Флористические особенности территорий выявляются при анализе семейственных и родовых спектров. Иногда вычисляются показатели систематического разнообразия: среднее число видов в семействе, среднее число видов в роде и среднее число родов в семействе. Эти соотношения принято включать в основу рассуждений о степени флористического богатства рассматриваемой территории или ее флористическом разнообразии. Флористическое разнообразие любой территории напрямую зависит от экологического, исторического и антропогенного факторов. Как правило, если наблюдается «высокое» флористическое богатство, например, по числу видов, то и показатели систематического разнообразия находятся на «высоком» уровне.

Отступление 2



При изучении конкретных флор кривая "виды - площадь", позволяет заметить, что любая "ступень" состоит из более мелких "ступенек", каждая из которых отражает прибавление одного или нескольких типичных сообществ с характерными для них видами, а также видами, не встреченными ранее.

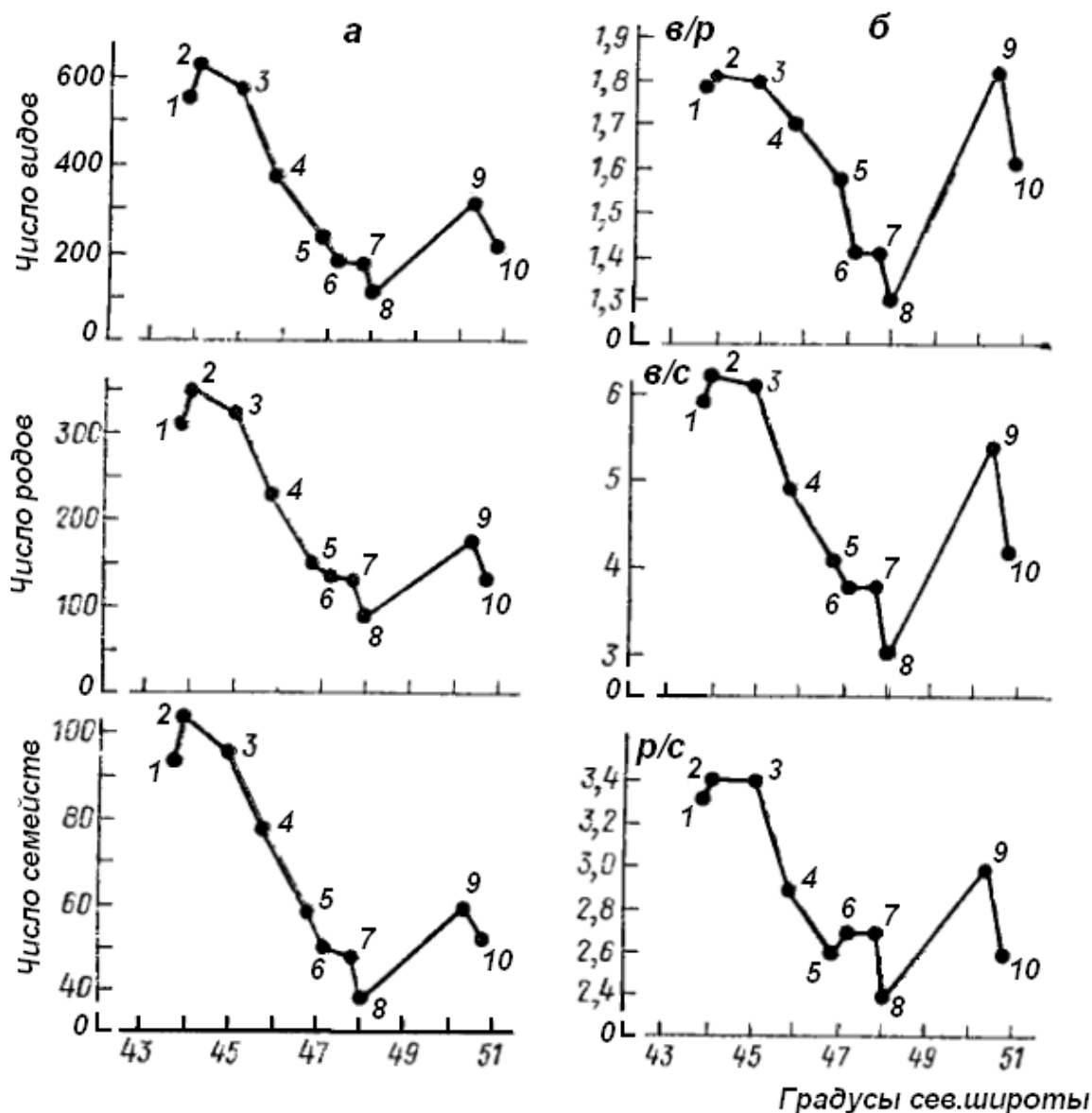
Заметим, что, в пределах одной "зоны" (сообщество, конкретная флора, природная зона) по мере увеличения площади ступеньки становятся ниже и длиннее.

Таким образом, определение однородности участка территории по кривой "виды-площадь" требует веских обоснований: достоверное различие между высотой "ступеней" и "ступенек".

Примечание: здесь имеем наглядное отражение принципа дискретной континуальности или непрерывной дискретности.

Показательным является пример для флор Курильских островов (Шмидт, 1980, с. 93-117; рис. 4). Полученные кривые зависимостей показателей флористического богатства (рис. 4а) и систематического разнообразия (рис. 4б) от географической широты демонстрируют определенное самоподобие¹.

¹ **Самоподобный объект** – объект, в точности или приближённо совпадающий с частью себя самого (то есть целое имеет ту же форму, что и одна или более частей).



в/р - среднее число видов в роде, в/с - среднее число видов в семействе, р/с - среднее число родов в семействе.

Рис. 4. Зависимость флористического богатства (а) и показателей систематического разнообразия (б) флор Курильских островов от географической широты (Шмидт, 1980 : 95)

Зависимость числа видов от площади для любых биологических сообществ имеет похожий вид. Она может быть аппроксимирована различными функциями: степенной, логарифмической, логистической, гиперболической и др. (Шитиков и др., 2012 : 54; рис. 2). Подбор функции зависит от целей и пристрастий исследователя.

Особой «популярностью» пользуется степенная зависимость:

$$N = AS^Z,$$

где N – количество встреченных видов, S – площадь, A , Z – константы (отступление 3).

В настоящее время большинство ботанических работ (трудов) включает в свое содержание таксономический, биоморфологический, ареалогический эколого-ценотический, анализ флор, а также дается оценка процессов синантропизации и адвентизации территории. Уделяется внимание эндемичным, реликтовым, редким и охраняемым видам.

Рассмотрим изменения различных параметров флоры (таксономических, биоморфологических и флорогенетических) в зависимости от увеличения площади на конкретных примерах.

В качестве «подопытных кроликов» были взяты две территории регионального уровня, находящиеся в одной природно-климатической зоне:

- бассейн реки Сок, представляющий собой преимущественно единый ландшафтный район;
- произвольно выбранная «прямоугольная» область, включающая части трех ландшафтных районов: Сокского, Мелекеско-Ставропольского и Ахтай-Майнского (Физико-географическое..., 1964), или Нижнесокского, Кондурчинского, Черемшано-Сокского (Чибилев, Дебело, 2006).

Обе изучаемые территории расположены в Самарско-Ульяновском Заволжье (рис. 5), характеризуются антропогенной нарушенностью, включают лишь «островки» естественной растительности (распаханность земель более 57%), обладают флористической неоднородностью, которая обусловлена историческими и ландшафтными (в том числе эдафическими) особенностями. Однако «прямоугольная» область имеет более высокий уровень сельскохозяйственной освоенности и плотность населения – 23,2 чел/км². В то время, как на территории бассейна р. Сок плотность населения несколько ниже – 14,6 чел/км².

В рамках определений конкретной флоры, согласно Толмачеву-Юрцеву², флора бассейна реки Сок, скорее всего, представляет одну конкретную флору, а флора «прямоугольной» области – «смешанную» флору трех ландшафтных районов.

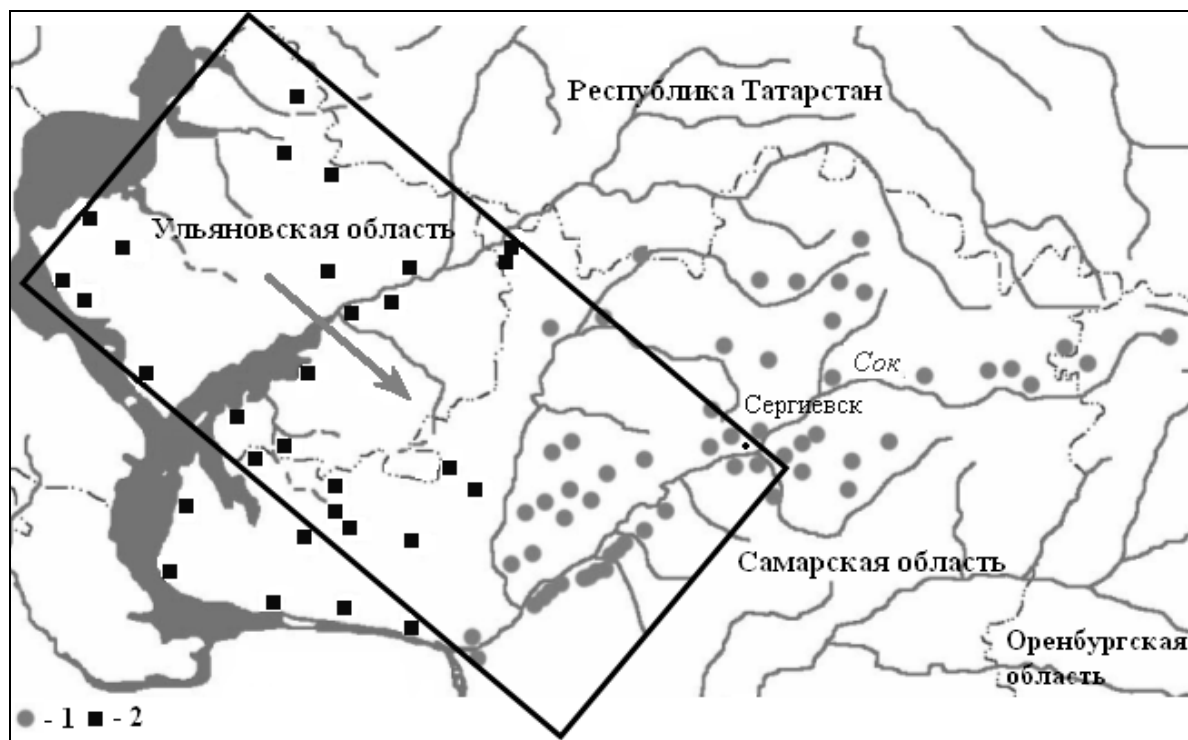
Отступление 3

В литературе по сравнительной флористике **Z** принято называть показателем пространственного разнообразия (по уравнению Аррениуса), показателем различия (по Престону). При этом следует не забывать о различиях в технике расчета этих показателей (Малышев, 1975). Согласно же фрактальной теории (Мандельброт, 2002) **Z** - фрактальная размерность (Федер, 1991; Гелашвили и др., 2013).

Фрактальность проявляется в таксономической структуре живых организмов, как в систематике, так и для отдельных сообществ и их совокупности какой-либо территории (Гелашвили и др., 2004, 2008, 2009, 2010, 2013).

² Флористический комплекс всех экотопов, существующих в данных ландшафтно-климатических условиях (Юрцев, Семкин, 1980)

Основой для построения кривых «виды-площадь» послужили списки локальных флор³. Под локальной флорой нами понимается совокупность видов растений небольшого участка местности, например, окрестностей населенного пункта, озера, горы, урочища и т.д.



1 – локальные флоры бассейна реки Сок; 2 – локальные флоры прилегающей территории

Рис. 5. Картограмма расположения площадок флористических описаний

Базируясь на исходных описаниях локальных флор, содержащих списки видов, мы понимали, что:

во-первых, степень изученности каждой локальной флоры различна (от неоднократных посещений в течение нескольких лет и в разные периоды вегетационного сезона до одноразовых визитов), а списки описаний отражают только «выборку» из реально существующей флоры местности;

во-вторых, отдельное описание, как правило, охватывает только некоторый набор экотопов и экотонных, связанных с обследованным участком, но не включает виды полного набора экотопов, характерного для всей рассматриваемой территории;

в-третьих, месторасположение локальных флор в силу субъективных и объективных причин не представляет собой регулярную структуру.

Тем не менее, общая пространственная картина по имеющимся описаниям (мы надеемся) дает адекватную оценку распространения видов растений на изучаемой территории.

³ По данным полевых исследований лаборатории проблем фиторазнообразия Института экологии Волжского бассейна РАН за период 2004-2013 гг.

Исходя из вышеизложенных свойств рассматриваемых территорий, при построении зависимостей учитывалось следующее допущение: предполагалось, что в ближайшей окрестности изученных локальных флор встречаются или произрастали бы (в случае занятости сельскохозяйственными угодьями, рекреационными и другими антропогенно трансформированными территориями) те же виды растений.

Построение кривых «виды-площадь» происходило следующим образом. Изучаемые территории произвольно разделялись на соприкасающиеся между собой полосы (отступление 4). Площадь увеличивалась путем прибавления следующей полосы, а списки локальных флор, территориально принадлежащие к получаемой зоне, объединялись.

Заметим, что для *предварительной* оценки выявления нескольких флористических районов или для доказательства существования только одного района, метод выделения полос принципиального значения не имеет и особо не влияет на полученный результат.

Уточним, что нами использовалась квадратная сетка (площадь одного квадрата – 100 км²) и карта масштабом 1:2 000 000.

Нами анализировалось не только изменение числа таксонов при увеличении площади (табл. 1). Также рассматривались зависимости в отношении многолетних трав, адвентивных видов и видов лидирующего семейства (*Asteraceae*). Отметим, что изменение числа видов в отдельных семействах головной части спектра и общего количества видов при увеличении площади происходит сходным образом (Иванова, 2013).

Отступление 4

При выделении отдельных полос можно использовать самые разные методы разбивки территории. Один из них – по градусной сетке (согласно географической широте и долготе), что позволяет выявить изменения флоры, в том числе по широтному и долготному градиенту. Выделение полос с учетом ландшафтных и экологических особенностей требует более тщательного вычисления площадей (см. отступление 5), что несложно сделать с помощью ГИС-технологий. Простым из методов является использование квадратной или прямоугольной сетки, что в дальнейшем без особых затрат позволяет приблизительно определить площадь выделенной зоны. Преимущество такого подхода – возможность накладывать сетку как с привязкой к географическим координатам, так и в любой другой ориентации. Также несложно подсчитать площадь, если выделять полосы по радиальному принципу (окружности в круге или дуги в секторе).

Отступление 5

Имеется в виду определение площади по карте, т.е. в проекции "вид сверху". Точное вычисление площади, занимаемой растительным покровом, – непростая задача, т.к. любая изучаемая территория не представляет собой идеально ровную поверхность, т.е. имеет фрактальную размерность > 2 .

Параметры рассматриваемых флор

Параметры	Сокский бассейн 11870 км ² , 60 лф	«Прямоугольная» область 15300 км ² , 55 лф
Число семейств	101	114
Число родов	436	522
Число видов	980	1253
Число адвентивных видов	137 (13,9%)	209 (16,7%)
Число многолетних трав	651	786
Число видов семейства <i>Asteraceae</i>	159	179

Примечания: лф – локальные флоры; культивируемые виды были исключены из рассмотрения. В скобках указан процент от общего числа видов.

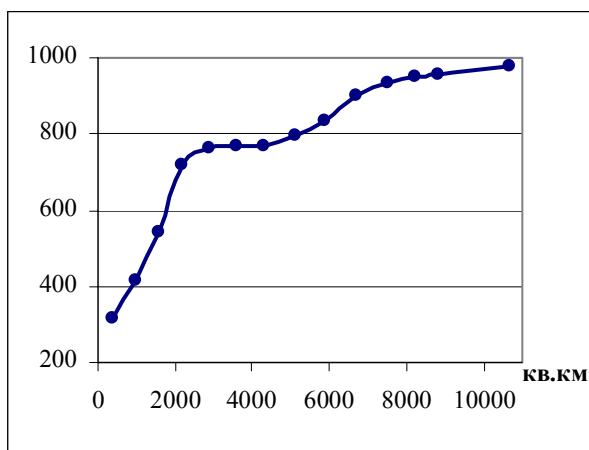
Изучение изменения параметров флоры Сокского бассейна производилось в направлении от устья реки к ее истокам, а по «прямоугольной» области с северо-запада на юго-восток (рис. 5; по направлению стрелки). Количественные изменения всех параметров флоры Сокского бассейна, также как и число видов, отражает экологические условия обследованной территории (рис. 6).

Нетрудно заметить сходство кривых, что свидетельствует о масштабной инвариантности, если под масштабом понимать выделение:

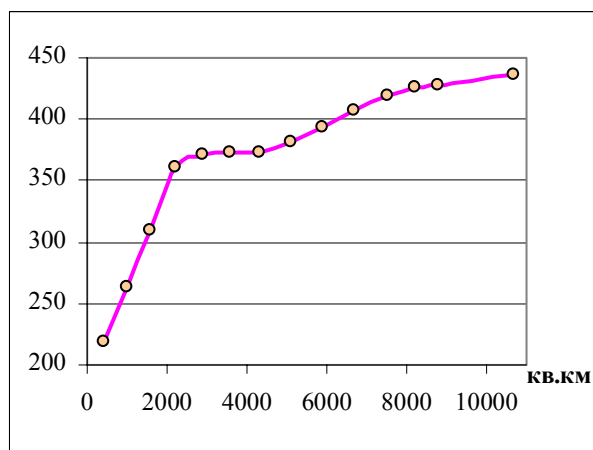
- подмножеств (многолетники, адвентивные виды и виды сем. *Asteraceae*) общего видового состава;
- надвидовых таксономических группировок (число семейств, число родов) рассматриваемой территории.

Изменения параметров флоры в зависимости от увеличения площади в нормированном (на отрезке $[0, 1]$) виде представлены на рис. 7. Для «прямоугольной» области кривые также имеют сходный вид: каждая из них имеет три ступени, характеризующих переходы из одной флористической зоны в другую.

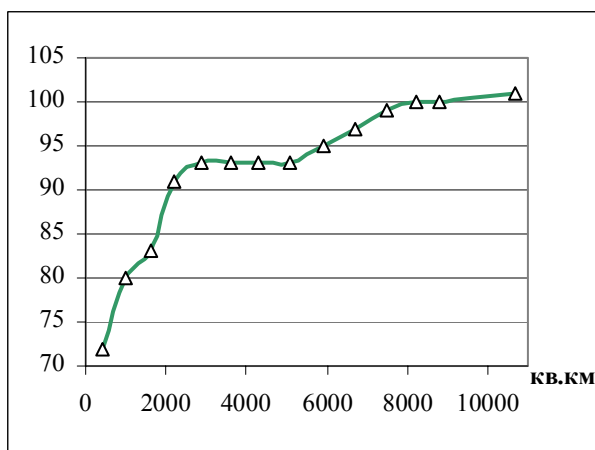
Следует отметить, что взаимное расположение кривых на рис. 7А и 7Б отличается, так как территории характеризуются различной флористической однородностью. Как было сказано выше, бассейн реки Сок принадлежит к одному ландшафтному району, поэтому следует ожидать большей флористической однородности, хотя и здесь она не абсолютна. Кривые на рис. 7Б отражают ход изменения флористических параметров по «прямоугольной» территории, охватывающей части трех ландшафтных районов. Поэтому здесь мы видим большее число ступеней, а также некую «вибрацию» хода кривых, в то время как на рис. 7А кривые имеют небольшое отклонение от кривой «число видов – площадь».



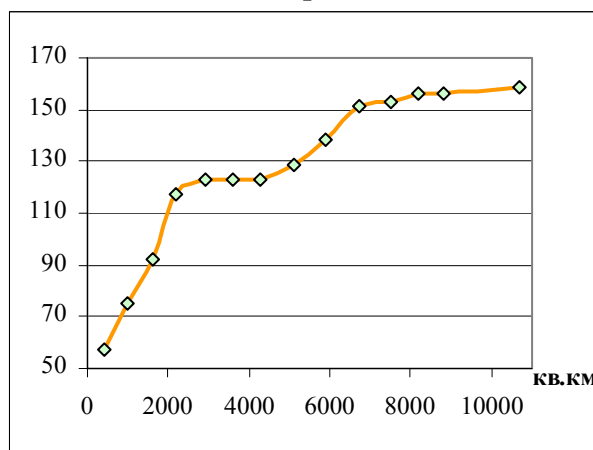
Число видов



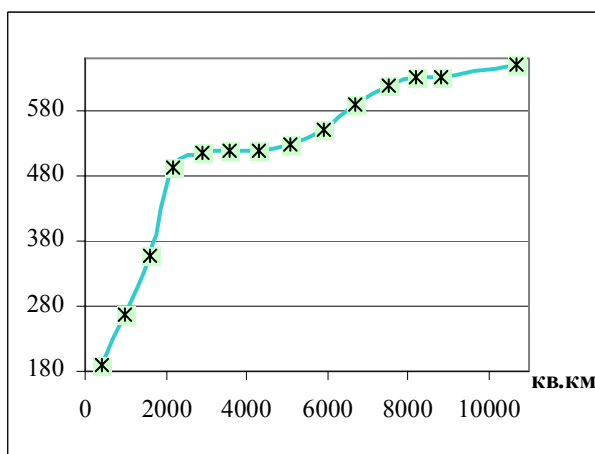
Число родов



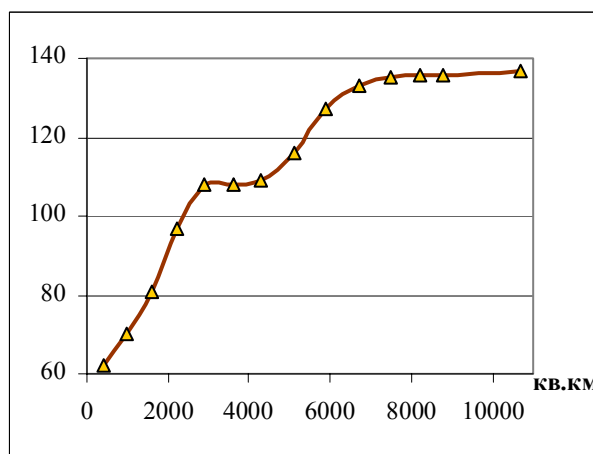
Число семейств



Число видов семейства *Asteraceae*



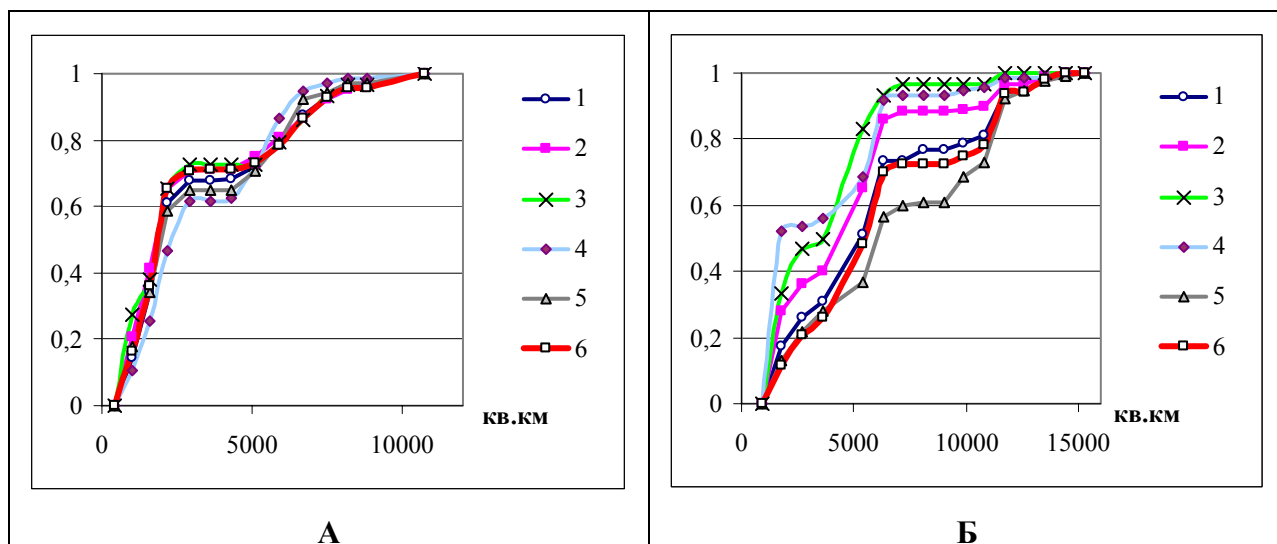
Число многолетников



Число адвентивных видов

Рис. 6. Кривые изменения параметров флоры по территории бассейна реки Сок

Изменение каждого параметра флоры имеет свою специфику. Она представлена в численном выражении в виде показателя Z , рассчитанного путем аппроксимации полученных кривых степенной зависимостью методом наименьших квадратов (табл. 2).



А – территория Сокского бассейна, Б – «прямоугольная» область;
условные обозначения – см. табл. 2.

Рис. 7. «Вибрирующие струны»

Для степенного показателя Z установлена пороговая величина, равная 0,27 (Престон, 1962). Этот порог дает возможность определить однородность территории, в том числе флористическую. При Z менее 0,27 территория считается однородной. Таким образом, по рассмотренным нами параметрам флоры, полученные численные значения Z , которые характеризуют флористические особенности территорий.

Таблица 2

Значения показателя Z для параметров флоры

№ п/п	Параметр флоры	Исследуемые территории	
		«Прямоугольная» область	Сокский бассейн
1	Виды	0,28	0,26
2	Рода	0,15	0,16
3	Семейства	0,11	0,09
4	Адвентивные виды	0,13	0,27
5	Виды семейства <i>Asteraceae</i>	0,27	0,26
6	Многолетники	0,34	0,26

Видовой состав «прямоугольной» области по показателю Z показывает большую неоднородность (табл. 2), чем территория Сокского бассейна. Несколько меньшим значением, но в таком же соотношении представлен данный показатель для семейства *Asteraceae*. В данном случае можно сказать, что это доминирующее семейство отражает черты изучаемой флоры.

Наименьшие значения Z у параметров «рода» и «семейства» ($Z < 0,27$), что свидетельствует об однородности по этим параметрам рассматриваемых территорий, принадлежащих одной природной зоне.

Поскольку состав многолетних травянистых растений представлен в основном видами аборигенной флоры, данный параметр характеризует особен-

ности распределения "местных" видов по рассматриваемой территории и отражает ее *природную* гетерогенность. Полученный результат показывает, что по параметру "многолетники" «прямоугольная» область, как и ожидалось, является неоднородной ($Z > 0,27$), а территорию Сокского бассейна можно рассматривать как однородную флористическую зону ($Z < 0,27$).

Степень антропогенной трансформации иллюстрируется процентом содержания адвентивных⁴ видов во флоре (отступление 6). Для «прямоугольной» территории в целом он составляет 16,7%, а для Сокского бассейна – 13,9% (табл. 1). При прохождении по «прямоугольной» области наблюдается низкое значение Z (0,13), что характеризует территорию как однородную с точки зрения антропогенной трансформации. Территория Сокского бассейна по этому показателю не является столь однородно нарушенной.

Наибольшая степень адвентизации наблюдается в юго-западной части Сокского бассейна – близ устья реки. Эта территория входит в пригородную зону Самары, здесь расположена железнодорожная ветка и крупная автомобильная магистраль.

Известно, что в биоморфологической структуре адвентивной флоры преобладают виды-однолетники. Оптимальной жизненной формой для адвентивного вида является жизненная форма доминирующих видов сообщества, в которое он внедряется (Вакег, 1986; Миркин, Наумова, 2012). Большая часть чужеродных растений занимает нарушенные территории с неблагоприятным для длительного произрастания экологическим режимом. В этих условиях преимущество получают формы, полный жизненный цикл которых завершается очень быстро. Вероятно, этим объясняется преобладание однолетников среди чужеродных растений.

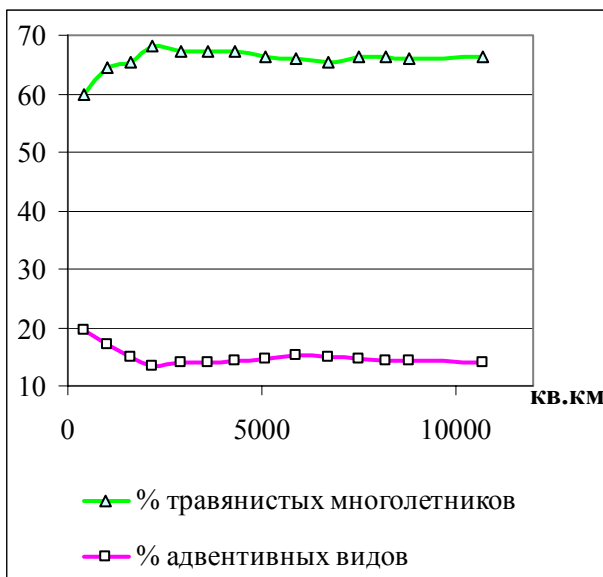
Поэтому на рассматриваемых территориях вполне закономерно происходит увеличение доли адвентивных видов при уменьшении доли многолетних трав. Изменение процента адвентивных видов и травянистых многолетников (по отношению к общему числу видов) в зависимости от увеличения площади представлено на рис. 8. Наблюдаем зеркальное отражение кривых относительно 40%.

Отступление 6

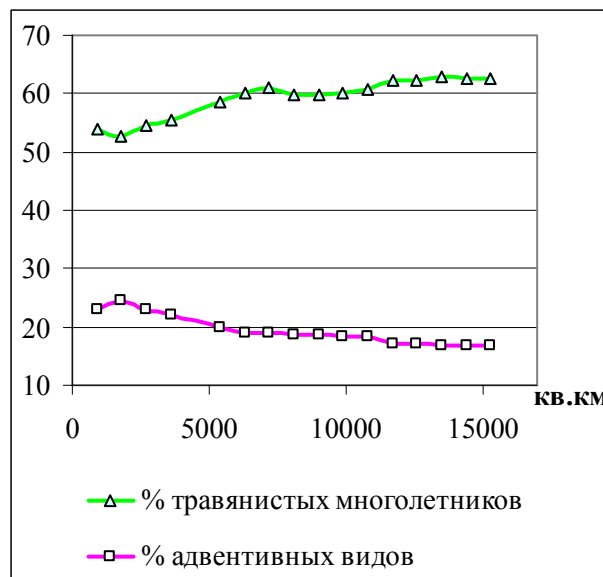
Наблюдается тенденция увеличения численности адвентивных видов, связанная как с возрастающей антропогенной нагрузкой (хозяйственное освоение территории и деградация природных фитоценозов, дичание интродуцентов, случайный занос транспортными средствами и др.), так и с возросшим в последнее время интересом к выявлению адвентивного компонента флоры.

Во флоре Самарско-Ульяновского Поволжья насчитывается 472 адвентивных вида, что составляет около 25% флоры региона (Сенатор и др., 2013).

⁴ **Адвентивный (чужеродный) вид** – вид, появление которого на конкретной территории не связано с процессами естественного флорогенеза.



территория Сокского бассейна
 $r = -0,97$



«Прямоугольная» область
 $r = -0,99$

r - коэффициент корреляции

Рис. 8. Изменение процента адвентивных видов и травянистых многолетников от увеличения площади

Проведенный на основе описаний локальных флор на примере двух территорий Самарско-Ульяновского Заволжья анализ позволяет сделать следующие выводы:

1. Наблюдается самоподобие кривых «параметр флоры – площадь».
2. Согласно полученным значениям степенного показателя Z , наблюдается однородность обеих рассмотренных территорий по числу родов и семейств (принадлежность к одной природной зоне).
3. По параметру "многолетники" «прямоугольная» область является неоднородной, а территорию Сокского бассейна можно рассматривать как однородную флористическую зону (конкретная флора).
4. Показатель Z для параметра «адвентивная флора», который отражает, в том числе и в большей степени, антропогенную трансформацию флоры, характеризует территорию бассейна р. Сок, как гетерогенную, а «прямоугольную» область, как однородно нарушенную.
5. Подтверждается известная обратная зависимость процента числа многолетников и процента числа адвентивных видов от общего числа видов флоры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Гелашвили Д.Б., Иудин Д.И., Розенберг Г.С., Якимов В.Н., Шурганова Г.В. Степенной закон и принцип самоподобия в описании структуры сообществ // Поволж. экол. журн. 2004. № 3. С. 227-245. – Гелашвили Д.Б., Якимов В.Н., Иудин Д.И. и др. Мультифрактальный анализ видовой структуры сообществ млекопитающих Нижегородского Поволжья. Экология. 2008. № 6. С. 456-461. – Гелашвили Д.Б., Иудин Д.И., Солнцев Л.А. и др. Мультифрактальный анализ видовой структуры сообществ гельминтов мелких млекопитающих Самарской Луки // Докл. АН. 2009. Т. 427, № 5. С. 703-706. – Гелашвили

Д.Б., Якимов В.Н., Иудин Д.И. и др. Фрактальные аспекты таксономического разнообразия // Журн. общ. биол. 2010. Т. 71. С. 115-130. – **Гелашвили Д.Б., Иудин Д.И., Розенберг Г.С., Якимов В.Н., Солнцев Л.А.** Фракталы и мультифракталы в биоэкологии. Н.Новгород: Изд-во Нижегород. гос. ун-та, 2013. 370 с.

Иванова А.В., Розенберг Г.С., Саксонов С.В. Опыт количественного анализа флористического разнообразия и флористической структуры Самарской Луки // Экология. 2006. № 5. С. 332-339. – **Иванова А.В.** Изучение особенностей флоры с помощью анализа спектра ведущих семейств // Изв. СамНЦ РАН. 2013. Т. 15, № 3(7). С. 2153-2159.

Кафанов А.И., Кудряшов В.А. Морская биогеография: Учеб. пособие. М.: Наука, 2000. 176 с.

Малышев Л.И. Количественный анализ флоры: пространственное разнообразие, уровень видового богатства и репрезентативность участков обследования // Бот. журн. 1975. Т. 60, № 11. С. 1537-1560. – **Мандельброт Б.** Фрактальная геометрия природы. М.: Ин-т компьютерных исследований, 2002. 656 с. – **Миркин Б.М., Розенберг Г.С.** Фитоценология. Принципы и методы. М.: Наука, 1978. 212 с. – **Миркин Б.М.** Что такое растительные сообщества. М.: Наука, 1986. 164 с. – **Миркин Б.М., Наумова Л.Г.** Наука о растительности (история и современное состояние основных концепций). Уфа: Гилем, 1998. 413 с.

Онипченко В.Г. Функциональная фитоценология: Синэкология растений. М.: КРАСАНД, 2013. 576 с.

Ребристая О.В. Опыт применения метода конкретных флор в Западно-Сибирской Арктике (полуостров Ямал) // Теоретические и методические проблемы сравнительной флористики. Материалы II рабочего совещ. по сравнит. флористике (Неринга, 1983). Л.: Наука, 1987. С. 67-92. – **Розенберг Г. С., Мозговой Д.П., Гелашвили Д.Б.** Экология. Элементы теоретических конструкций современной экологии (учебное пособие). Самара, 1999. 396 с. – **Розенберг Г.С.** Введение в теоретическую экологию / в 2-х т.; Изд. 2-е, исправленное и дополненное. Тольятти: Кассандра, 2013. Т. 2. 445 с.

Сенатор С.А., Раков Н.С., Саксонов С.В., Васюков В.М., Иванова А.В. Новые и редкие чужеродные растения в Среднем Поволжье // Рос. журн. биол. инвазий. 2013. № 3. С. 98-104.

Толмачев А.И. Введение в географию растений. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1974. 244 с. – **Толмачев А.И.** Методы сравнительной флористики и проблемы флорогенеза. Новосибирск: Наука, 1986. 196 с.

Федер Е. Фракталы. М.: Мир. 1991. 254 с. – **Физико-географическое районирование Среднего Поволжья /** Под ред. А.В. Ступишина. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1964. 173 с.

Чибилев А.А., Дебело П.В. Ландшафты Урало-Каспийского региона. Оренбург: Ин-т степи УрО РАН, Печатный дом «Димур», 2006. 264 с.

Шитиков В.К., Зинченко Т.Д., Розенберг Г.С. Макроэкология речных сообществ: концепции, методы, модели. Тольятти: Кассандра, 2012. 257 с. – **Шмидт В.М.** Статистические методы в сравнительной флористике. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1980. 176 с.

Юрцев Б.А. Некоторые тенденции развития метода конкретных флор // Бот. журн. 1975. № 1. С. 69-83. – **Юрцев Б.А., Семкин Б.И.** Изучение конкретных и парциальных флор с помощью математических методов // Бот. журн. 1980. Т. 65, № 12. С. 1706-1718.

Baker H.G. Patterns of plant invasion in North America // Ecology of Biological Invasions of North America and Hawaii. Ecological Studies 58. New York: Springer-Verlag, 1986. P. 44-57.

Preston F.W. The canonical distribution of commonness and rarity: Part II // Ecology. 1962. V. 43, No. 3. P. 410-432.