

# МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

## ПРОБЛЕМА ПЕРВИЧНОЙ РЕДУКЦИИ ВИДОВ ПРИ АНАЛИЗЕ СВОДНЫХ ГЕОБОТАНИЧЕСКИХ ТАБЛИЦ И РАЗРАБОТКА АНАЛИТИЧЕСКИХ ПРОГРАММ

THE PROBLEM OF THE PRIMARY REDUCTION OF SPECIES IN THE ANALYSIS OF GENERAL GEOBOTANICAL TABLES  
AND THE ELABORATION OF ANALYTIC PROGRAMS

© Ю. Н. НЕШАТАЕВ  
Yu. N. NESHTAYEV

Санкт-Петербургский государственный университет, биолого-почвенный факультет, кафедра геоботаники и экологии растений. 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7/9.

Редукция видового состава сложных многовидовых сообществ — необходимый этап при анализе больших массивов описаний пробных площадей таких сообществ. Приводится алгоритм программы CENOTAB для эколого-фитоценологической классификации лугово-степной растительности среднерусской лесостепи.

*Ключевые слова:* классификация, растительность, эколого-фитоценологический подход, методы редукции, программа CENOTAB, луговая-степь, лесостепь.

*Key words:* vegetation, classification, ecologo-phytocoenological approach, methods of reduction, program CENOTAB, meadow-steppe, forest-steppe.

Номенклатура: Черепанов, 1995.

Развитие количественных подходов к анализу растительного покрова сопряжено со сбором массового материала и требует более строгого отношения к методам сбора данных. В свою очередь это связано либо с уменьшением количества пробных площадей, на которых производится учет признаков, либо с использованием дистанционных методов при исследовании закономерностей топографического размещения фитоценозов. Дальнейший анализ этих данных сильно затрудняется даже при наличии современной компьютерной техники. Разработанный на кафедре геоботаники и экологии растений Санкт-Петербургского государственного университета (СПбГУ) konsekventный (последовательный) анализ растительности включает в себя не только выборочно-статистический метод организации сбора материала на систематически размещаемых пробных площадях, но и широкое использование количественных методов при обработке массового материала (Нешатаев, 1987). Эти методы связаны как с анализом видового состава сообществ, так и с определением мер сходства (или дистанции) между пробными площадями фитоценозов, а также с выяснением их связи с основными факторами среды (влажностью почвы, ее плодородием, типами и элементами рельефа и т. п.).

При наличии большого полевого материала, получаемого при картографировании растительности

выборочно-статистическим методом, возникают трудности с его последующим анализом не только по причине массовости, но и в связи с наличием промежуточных состояний признаков сообществ и сложностей их дальнейшей классификации.

Существуют специальные компьютерные программы, предназначенные для анализа таких материалов: TWINSPAN, CANOCO, DECORANA, TABORD, ORDIFLEX, MULVA-5, SIN-TAX и др. (Уланова, 1995), они достаточно широко используются европейскими геоботаниками. В подавляющем большинстве эти программы созданы для классификации фитоценозов на основе флористических критериев школы Браун-Бланке (Hill, 1973; Maarel et al., 1978). В последнее время Европейской геоботанической службой рекомендована для всеобщего применения и составления фитоценологических таблиц программа TURBOVEG (Schaminee, Hennekens, 1996). В меньшей степени перечисленные программы пригодны для количественного анализа сообществ с использованием фитоценологических критериев, особенно многоярусных сообществ, сложенных растениями, относящимися к разным жизненным формам.

Чисто эколого-флористический подход при классификации сообществ в настоящее время не удовлетворяет уже и «правоверных» сигматистов школы Браун-Бланке. В связи с этим им приходится в ряде

случаев учитывать доминирование видов в сообществах (Миркин, Розенберг, 1978). Такая непоследовательность сторонников этой школы в использовании базовых критериев приводит, пользуясь терминологией Б. М. Миркина (1986), к бесконечному «скольжению» их синтаксонов как в сторону укрупнения, так и в сторону понижения ранга. На частые пересмотры таксонов последователи этой школы обращали внимание давно (Ellenberg, 1956). При этом даже говорили о своеобразном «бунте» среди фитоценологов этой школы.

Непоследовательность в работах большинства фитоценологов-сигматистов связана и с непризнанием ими континуума растительного покрова, а также с тем, что при математической обработке ими используются материалы, собранные на «типичных» местах без соблюдения правил теории отбора проб.

Следует также отметить, что в геоботанике давно известны статистические закономерности распределения важнейших признаков сообществ. Начиная с К. Раункьера (Raunkiaer, 1918), было проведено множество исследований по изучению константности видов в сообществах. Стало говорить о законе или правиле Раункьера (Du Rietz et al., 1920), суть которого сводится к тому, что в большинстве типов сообществ бывает немного видов с высокой константностью (10—20 % от общего их числа в конкретной выборке сообществ). Большая же часть видов обычно имеет невысокую константность.

Так, по нашим данным, в дубняках среднерусской лесостепи в 1300 описаниях пробных площадей фитоценозов, размещенных на пространстве от Днепра до Дона, четко выявились те же закономерности, что были описаны ранее в других регионах. Из 300 видов, зарегистрированных в этой выборке, было около 10 видов с константностью 80 % и более. Подавляющее большинство видов имели константность в пределах 10—20 % (Нешатаев, Плавников, 1974). Этому же закону Раункьера подчиняются и другие признаки растительного покрова. Так, при сплошном крупномасштабном картографировании дубрав, остепненных лугов и луговых степей среднерусской лесостепи распределение типов фитоценозов (ассоциаций) также подчиняется закону Раункьера. Больших по площади сообществ, представленных значительным числом описаний пробных площадей при систематическом их размещении на исследуемой территории, бывает немного (около 10 % от общего числа выявленных типов сообществ). Основная масса типов сообществ представлена на небольших по площади участках. Это не значит, что такие редкие сообщества должны игнорироваться как нетипичные. Часто они обусловлены экологическими и другими причинами. Для таких сообществ неприложимо формально-статистическое требование для их исключения (если нельзя представить 10—12 описаний пробных площадей для их выделения и характеристики — Миркин, 1985). Характеристика растительного покрова без этих редких, но часто физиономически очень характерных сообществ будет далеко неполной и искаженной; однако, малое число описаний, приходящееся на каждый из таких типов, не дает возможности говорить о статистической достоверности и степени точности их выделения.

Вот почему при широком использовании статистических методов анализа массового материала возникает проблема временной редукции части признаков или объектов анализа для выявления основных

факторов, определяющих типологическое разнообразие растительности и биоразнообразие вообще. Для этого приложимы и приемы, разрабатываемые в теории информации (Пузаченко, Мошкин, 1969), а также в факторном и градиентном анализе (Нешатаев, 1987; Tothmerezsz, 1993; Комолова и др., 1995).

Оценивая вклад каждого признака или явления в общую систему варьирования, можно статистическим путем выделить несколько главных компонентов или факторов. В этом случае обычно выделяют 2—3 из множества факторов, влияющих на это явление. В реальных ситуациях при анализе растительного покрова мы встречаемся с большим количеством сильно действующих факторов. Однако, при традиционном анализе главных компонент обычно получаем сильное огрубление реальной картины связи растительности с факторами среды, сталкиваясь часто с очень расплывчатой и нечеткой трактовкой действующих факторов.

Можно подходить к растительному покрову не только с точки зрения строгой классической статистики, оперирующей определенными требованиями к материалу (метричности, ранжированности и упорядоченности количественных данных), но и с позиции теории информации. Каждое явление, в нашем случае — каждый вид в сообществах какой-либо выборки и каждое сообщество и соответствующие им экотопы несут определенную информацию. В силу большой толерантности многих видов и широты экологического диапазона ряда сообществ точное определение его места в ряду признаков и объектов часто не представляется возможным. Наиболее обильные и часто встречаемые виды ряда сообществ в большинстве случаев определяют основные особенности растительного покрова, являясь не только доминантами, но и эдификаторами. Основная информация об особенностях растительности идет от таких видов и от сообществ с доминированием этих видов. Именно такие сообщества имеют самый большой вес и с биогеоэкологической позиции, играя заметную роль в сложных процессах метаболизма вещества и трансформации энергии. Остальные, редко встречаемые виды и сообщества представлены обычно большим таксономическим и типологическим набором и создают явление «информационного шума», на общем фоне которого наиболее константные и обильные виды и часто встречаемые сообщества с небольшим набором обильных видов могут рассматриваться как «полезный сигнал» с максимально ценной информацией. При этом, чем выше доля информации от таких признаков, по сравнению с признаками, создающими информационный шум, тем более значимыми выступают соответствующие виды и сообщества. Такой подход особенно перспективен при изучении сложного растительного покрова и при большой видовой насыщенности сообществ, в частности среднерусских лесостепных луговых степей и остепненных лугов. Достаточно отметить, что по поводу классификации этих типов растительности до сих пор существуют различные мнения.

При анализе сводных таблиц описаний пробных площадей фитоценозов таких форм растительного покрова и при классификации лесостепных дубрав нами применялся метод редукции на первом этапе сортировки массового материала перед обработкой их с применением компьютерных программ (Нешатаев, 1987). Этот прием позволяет резко сокращать объем вычислительной работы и более четко выделять ос-

новные наиболее значимые виды и наиболее информативные типы сообществ. В основе отбора видов лежит оценка их встречаемости в анализируемом массиве описаний пробных площадей фитоценозов. При этом необходимо установление порога, чаще всего нижнего, для отнесения редких и, что также необходимо учитывать, малообильных видов в группу видов, которые не подлежат дальнейшему статистическому анализу. Только в конечной итоговой таблице они снова упоминаются и чаще всего приводятся в конце таблицы в подстрочных примечаниях с указанием их параметров (номер описания и оценка обилия). Подобная процедура редукции давно и широко используется сигматистами, которые на первых этапах аналитической работы отсеивают самые константные виды, обычно с константностью >60 %. Однако именно среди видов этой группы чаще всего присутствуют наиболее фитоценологически значимые виды. Без их учета невозможно проводить классификацию сообществ по эколого-фитоценологическим критериям.

Как показала практика, обычно даже в таблицах со сложными многовидовыми сообществами после первичной редукции остается до 20—35 видов, заслуживающих статистической обработки.

У европейских фитоценологов тоже не все описания пробных площадей попадают в аналитические таблицы. Так, Х. Элленберг считает возможным и целесообразным не включать в обработку до 40—60 % описаний фитоценозов, руководствуясь «тактом и вкусом» исследователя, и рекомендует исключать нетипичные сообщества и сообщества как с малым набором видов, так и с очень богатым видовым составом (Ellenberg, 1956).

Наш опыт также показал, что без заметного ущерба для классификации сообществ возможна редукция значительного количества видов из первой валовой таблицы описаний пробных площадей, исключаящая их из дальнейшего статистического анализа с применением мер сходства. При этом временно исключаются виды с невысокой константностью (менее 10 %) и малыми показателями проективного покрытия почвы (1—2 %). После этой редукции в сводной таблице обычно остается небольшое количество видов, которые в дальнейшем и будут анализироваться для определения степени сходства пробных площадей и видов в сравниваемых сообществах.

При обработке количественных показателей видов наиболее информативным с ценологической точки зрения является анализ с вычислением нормированной дистанции Евклида. В отличие от определения межвидовой сопряженности вычисление нормированной евклидовой дистанции позволяет не только учесть совместную встречаемость (сопряженность) видов, но и меру их фитоценологического сходства с учетом их обилия или покрытия почвы. При этом величина нормированной дистанции определяется через отношение обычной евклидовой дистанции

$$D_{1,2} = \sqrt{\sum (X_{j,1} - X_{j,2})^2}$$

к максимально возможной величине в случае полного несходства сравниваемых видов или пробных площадей фитоценозов, когда отсутствуют общие виды в сравниваемой паре сообществ

$$D_{\max 1,2} = \sqrt{\sum (X_{j,1})^2 + \sum (X_{j,2})^2}$$

где  $j$  — номер вида в сравниваемой паре описаний;  $X_{j,1}$ ,  $X_{j,2}$  — конкретные оценки проективного покрытия видов в сравниваемой паре сообществ.

В этом случае нормированная дистанция

$$D_{\text{norm } 1,2} = D_{1,2} / D_{\max 1,2}$$

и ее величина будет изменяться от 0 до 1 (или от 0 до 100 %).

В итоге получаем матрицу коэффициентов нормированной евклидовой дистанции. Большинство коэффициентов этой матрицы бывают мало информативны. Поэтому необходимо произвести редукцию видов, вклад которых в общую сумму коэффициентов незначителен. Это достигается путем ранжирования всех видов этой матрицы по сумме расстояний (дистанций) для каждого вида и по проценту этой суммы от общей суммы расстояний во всей матрице. В этом ранжированном ряду группа первых видов с минимальными расстояниями (наиболее сходные виды), чей общий вклад по сумме составляет 30—40 % от общей суммы евклидовых расстояний, в дальнейшем должна послужить основой для выделения групп взаимосвязанных (сопряженных) видов. Построение цепочки (графа) видов по минимальной величине нормированной дистанции дает возможность провести итерацию (расчленение ряда) с целью выделения групп фитоценологически взаимосвязанных видов.

Определение нормированной евклидовой дистанции между всеми площадками (фитоценозами) по столбцам редуцированной сводной таблицы, полученной после исключения из первичной валовой таблицы малоинформативных видов, позволяет также составить следующую вторичную матрицу расстояний между площадками.

Проведение редукции коэффициентов этой матрицы по указанным выше критериям с учетом вклада величины их сходства (в процентах к общей сумме расстояний) позволит провести редукцию описаний на тех же принципах, что и при редукции матрицы видов. Величины сходства таких площадок обычно бывают минимальны, и они чаще всего занимают промежуточные позиции в общем сводном списке описаний пробных площадей фитоценозов. Построение цепочки пробных площадей с учетом их минимальных расстояний позволяет наметить группы наиболее сходных сообществ (близких по величине нормированной евклидовой дистанции). При этом также выясняется и общая дистанция между наиболее далекими описаниями в этой выборке пробных площадей.

В итоге этих операций мы получаем исходные данные для выделения групп ценологически сопряженных видов и групп сходных сообществ, что дает возможность проведения перекрестного анализа подобно тому, что был предложен В. Вильямсом и Дж. Лембертом, но с использованием лишь флористического сходства пробных площадей (Williams, Lambert, 1961). Выделение групп сходных фитоценозов и групп сходных по фитоценологическому критерию видов позволяет расчленить сводную таблицу описаний на фитоценоны (типы сообществ) и флороны или конгесты (флористически близкие сообщества), что является основой их эколого-фитоценологической классификации (Нешатаев, 1987).

Определение в дальнейшем с помощью экологических шкал позиций групп видов и групп описаний в факторном пространстве дает возможность построения их ординации.

В качестве примера решения приведенного выше алгоритма классификации взяты описания травянистых фитоценозов степной балки Астрасеев яр (урочище Низкое, Борисовского р-на Белгородской обл.).

Для анализа использованы описания растительности, произведенные в 1997 г. на 20 учетных площадках размером 50×50 см, заложенных на расстоянии 1.5 м друг от друга на 40-метровом отрезке большого профиля, который пересекает весь массив балки и имеет протяженность 400 м. Этот участок профиля приурочен к достаточно ровной части приводораздельного склона перед переходом его к крутому южному склону в глубокую балку. В целом эти 20 площадок характеризуют достаточно пеструю растительность старой залежи (с господством *Onobrychis arenaria* и *Chamaecytisus ruthenicus*), расположенной рядом с полем пшеницы. В итоге, на 20 учетных площадках было зарегистрировано 35 видов высших растений, из которых для статистического анализа был взят только 21 вид. Остальные 14 видов имели низкую константность (менее 10 %) и незначительное проективное покрытие (1 %). Естественно, при составлении заключительной сводной таблицы этих описаний приводится весь видовой состав, включая редкие виды, перечень и оценка которых обычно дается в примечании к сводному списку. В нашем случае они не приведены по причине экономии места в таблице.

Первая полная валовая таблица с описаниями площадок, которая в настоящей статье не приведена, дает представление о пространственном распределении растительности по профилю и некоторую возможность выделения на нем элементарных участков, однородных по набору видов и доминированию важнейших из них, которые и определяют физиономию растительности этой части профиля.

Бросается в глаза большое участие таких видов как ракитник русский *Chamaecytisus ruthenicus*, василек песчаный *Centaurea arenaria*, эспарцет песчаный *Onobrychis arenaria*, шалфей луговой *Salvia pratensis* и шалфей поникший *S. nutans*. Остальные виды имеют невысокие оценки покрытия и играют незначительную роль в сложении травостоя. Таким образом, флористический состав на этом отрезке профиля является типичным для травянистых сообществ (лугов и степей) лесостепной зоны, сохранившихся на степных балках среди сплошь распаханых территорий, занятых сельскохозяйственными культурами. Именно эти виды с наиболее высокими показателями проективного покрытия и константности, а также коэффициента фитоценоотической значимости (более 1 %) в первую очередь и заслуживают выделения для дальнейшего статистического анализа с помощью нормированной евклидовой дистанции. Кроме указанных 5 видов в анализ можно включить еще 2 вида с заметными показателями константности и проективного покрытия почвы: *Medicago falcata*, *Festuca valesiaca*.

После исключения малоинформативных видов из полной валовой таблицы получаем редуцированную рабочую таблицу с сокращенным набором видов (табл. 1). С помощью специальной компьютерной программы NED вычисляем нормированную евклидову дистанцию между пробными площадками (табл. 2). Определяя суммы коэффициентов дистанции между площадками, мы получаем возможность ранжировать все площадки по средней величине этих коэффициентов для каждой площадки.

Из табл. 2 видно, что самые малые величины евклидовой дистанции имеют площадки 8—10 (14 %) и др. В то же время площадка 5 имеет самую большую сумму коэффициентов, а значит и наименьшее сходство со всеми остальными площадками.

Используя прием построения дендрита по минимальным величинам расстояния между площадками, получаем один из возможных вариантов размещения площадок по степени их сходства в будущей заключительной сводной таблице описаний:

5<sup>-62</sup>-6<sup>-42</sup>-12<sup>-34</sup>-14<sup>-26</sup>-11<sup>-51</sup>-19<sup>-29</sup>-16<sup>-22</sup>-15<sup>-22</sup>-18<sup>-34</sup>-13<sup>-39</sup>-9<sup>-14</sup>-10<sup>-21</sup>-17<sup>-28</sup>-8<sup>-24</sup>-4<sup>-56</sup>-20<sup>-24</sup>-7<sup>-52</sup>-1<sup>-35</sup>-2<sup>-33</sup>-3

Примечание. Величины коэффициентов сходства поставлены между номерами площадок.

Для определения порядка размещения видов в будущей сводной таблице необходима дальнейшая временная редукция фитоценоотически мало значимых видов с учетом средних величин их проективного покрытия в пределах всех площадок сводной рабочей таблицы. В табл. 1 приведен ранжированный ряд видов по величине их среднего проективного покрытия, где первое место занимает василек песчаный, а далее в порядке убывания идут 2, 3, 4, 5, 6, 7 и т. д. виды. Начиная с 6-го вида среднее проективное покрытие либо равно 1, либо меньше единицы. Отсюда, реальную ценность для фитоценоотической классификации приведенных в таблице описаний площадок представляют лишь первые 7 видов (*Centaurea arenaria*, *Salvia pratensis*, *Chamaecytisus ruthenicus*, *Onobrychis arenaria*, *S. nutans*, *Medicago falcata*, *Festuca valesiaca*). Только эти виды и заслуживают анализа на взаимную сопряженность через евклидову дистанцию (табл. 3).

Построенный граф (см. рисунок), показывает близость видов через величину их коэффициентов. Эти виды будут занимать первые места в итоговой сводной таблице (табл. 4).

В этой таблице намечаются типы сообществ, однородных по структуре травостоя, выявленных в пределах анализируемого профиля. Они могут быть названы следующим образом:

I. *Salvia nutans* + *Onobrychis arenaria* + *Centaurea arenaria* (пл. 5)

II. *Onobrychis arenaria* + *Chamaecytisus ruthenicus* + *Salvia nutans* (пл. 6, 11, 12, 14)

III. *Centaurea arenaria* + *Onobrychis arenaria* (пл. 15, 16, 18, 19)

IV. *Centaurea arenaria* + *Salvia pratensis* (пл. 4, 8, 9, 10, 13, 17)

V. *Salvia pratensis* + *Chamaecytisus ruthenicus* + *Onobrychis arenaria* (пл. 7, 20)

VI. *Salvia pratensis* + *Herbosae* (пл. 1, 2, 3)

Бросается в глаза, что на большинстве площадок заметную роль играет *Salvia pratensis* (с большой примесью *Chamaecytisus ruthenicus*, *Centaurea arenaria* и *Onobrychis arenaria*), а на меньшей части площадок — *Salvia nutans* (на фоне тех же сопутствующих видов). Причем эти две группы площадок хорошо различаются почвенно-грунтовыми условиями. Используя экологические шкалы Л. Г. Раменского (Раменский и др., 1956), можно определить условия увлажнения и степень богатства почвы этих экотопов. Так, для сообществ с заметным участием *Salvia nutans* характерны сухостепное увлажнение (37-й балл по шкале увлажнения) и довольно богатые почвы (10—13-й баллы по шкале богатства почвы). Все участки с заметной ролью *S. pratensis* относятся к местам со среднестепным увлажнением (45—46-й баллы) и к довольно богатым почвам (14-й балл).

Совершенно особо стоит площадка 5, на которой отмечены самое низкое проективное покрытие почвы (около 50 %) и незначительное обилие всех видов. Такого рода пятна со слабым развитием травостоя —

Валовая редуцированная сводная таблица описаний пробных площадок лугово-степных сообществ по профилю через степную балку Астрасьев яр (Борисовский район Белгородской области)

Reduced rough relevé table for meadow-steppe plots located along the profile across the «Astrasyev Yar» ravine (Borisov district, Belgorod region; projective cover, %)

№ п.п.	Вид	Наксер в пробных площадках																				СПШ	КОН	КФЗ
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20			
1	<i>Centaurea arenaria</i>	5	7	10	30	10	7	15	35	30	30	25	20	30	15	40	45	40	30	45	5	24	100	24
2	<i>Chamaecrista nuttalliana</i>	10	5	20	25	10	25	30	25	10	15	30	20	15	25	10	-	10	15	10	30	17	90	15
3	<i>Onobrychis arenaria</i>	-	10	-	5	10	25	27	15	10	15	15	30	25	25	20	25	10	25	10	20	16	90	14
4	<i>Salvia pratensis</i>	35	55	40	15	-	15	35	20	35	30	-	-	15	-	35	20	-	30	-	30	18	40	7
5	<i>Salvia nutans</i>	5	-	-	10	15	5	-	-	-	-	25	15	-	35	20	-	-	15	7	-	8	50	4
6	<i>Medicago falcata</i>	-	-	-	-	1	3	-	-	5	7	-	-	3	-	5	-	-	-	-	10	2	35	<1
7	<i>Festuca valesiaca</i>	1	1	1	1	1	1	3	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	100	1
8	<i>Elytrigia repens</i>	3	2	1	1	1	1	1	1	-	1	1	1	1	1	1	1	-	-	-	1	1	80	1
9	<i>Asperula cynanchica</i>	1	1	1	1	1	1	-	1	1	1	1	1	1	-	-	-	1	1	1	-	1	65	<1
10	<i>Achillea millefolium</i>	-	1	1	-	1	1	-	-	1	1	-	-	1	-	-	-	1	-	1	-	<1	55	<1
11	<i>Fragaria virginidis</i>	1	2	3	2	-	2	5	-	1	1	-	-	1	-	-	-	-	1	1	-	1	55	1
12	<i>Eryngium campe stre</i>	5	1	-	-	1	-	1	1	1	1	-	-	1	-	1	-	-	1	-	-	<1	50	<1
13	<i>Artemisia campe stre</i>	-	-	-	2	1	3	-	1	2	-	2	-	-	1	1	1	-	1	1	-	1	45	<1
14	<i>Plantago media</i>	-	-	1	-	-	-	2	-	1	2	-	2	-	-	-	-	-	5	7	2	1	45	<1
15	<i>Poa angustifolia</i>	-	-	-	1	-	1	-	-	1	-	-	-	-	1	-	1	1	1	1	1	<1	40	<1
16	<i>Eupatorium falcatum</i>	1	2	1	-	1	-	-	1	-	2	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1	<1	40	<1
17	<i>Amoria montana</i>	2	3	5	1	-	-	-	-	-	-	-	5	-	-	-	-	2	-	-	5	1	35	<1
18	<i>Eriomopsis inermis</i>	-	-	1	-	1	-	-	-	-	-	1	-	-	1	-	-	-	-	-	-	<1	20	<1
19	<i>Dactylis glomerata</i>	-	-	-	-	-	1	-	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<1	20	<1
20	<i>Polygala vulgaris</i>	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	<1	15	<1
21	<i>Agrimonia eupatoria</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	7	-	-	-	-	-	-	-	-	<1	10	<1
	СПШ, %	69	91	85	94	54	91	119	102	101	105	105	102	94	105	101	74	102	92	85	107			

Примечание. СПШ — среднее проективное покрытие почвы, %; КОН — константность, %; КФЗ — коэффициент фитоценологической значимости, %.

На пробных площадках были зарегистрированы следующие виды, имеющие проективное покрытие менее 1 % и константность менее 10 %: *Arenaria stenophylla*, *Centaurea scabiosa*, *Cichorium intybus*, *Daucus carota*, *Falcaria vulgaris*, *Filipendula vulgaris*, *Helictotrichon rubescens*, *Hieracium baubini*, *Knautia arvensis*, *Koeleria cristata*, *Nonnea pullla*, *Potentilla argentea*, *Tragopogon orientalis*, *Veronica incana*.

**Коэффициенты нормированной евклидовой дистанции (NED) для пробных площадок лугово-степной залежи**

Coefficients of normalized Euclidean distances (NED) for meadow-steppe oldfield sample plots

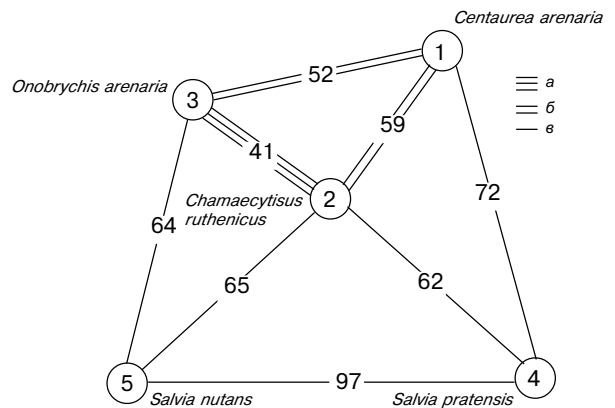
Номер площадки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Сумма коэффициентов	Ранг
1	*	35	25	64	87	66	52	65	46	52	84	88	71	87	89	94	59	88	90	51	1233	19
2		*	33	72	94	69	46	66	42	49	91	89	69	91	90	90	55	89	91	51	1232	18
3			*	55	88	60	40	53	39	43	79	83	65	85	86	90	50	84	84	40	1182	16
4				*	61	53	49	24	43	38	38	53	40	57	45	59	39	44	43	56	933	4
5					*	62	78	71	80	75	51	52	66	52	58	75	79	51	69	78	1327	20
6						*	35	49	60	51	52	42	43	53	66	74	65	52	75	32	1059	11
7							*	38	41	35	62	58	42	66	70	73	48	62	73	24	992	8
8								*	33	24	49	51	24	64	47	49	28	44	42	49	870	1
9									*	14	70	70	39	79	61	60	19	63	58	51	968	5
10										*	63	61	29	72	55	55	21	55	53	44	889	2
11											*	35	53	26	38	64	66	33	51	66	1071	12
12												*	42	34	40	54	66	24	55	62	1017	9
13													*	62	42	38	36	34	43	52	890	3
14														*	46	72	77	40	66	69	1198	17
15															*	33	53	22	28	78	1047	10
16																*	49	38	29	84	1180	15
17																	*	56	44	60	970	6
18																		*	36	70	985	7
19																			*	83	1113	14
20																				*	1100	13

Таблица 3

**Коэффициенты нормированной евклидовой дистанции (NED) для фитоценотически наиболее значимых видов**

Coefficients of normalized Euclidean distances (NED) for species of most phytocoenotic importance

№	Вид	1	2	3	4	5	6	7
1	<i>Centaurea arenaria</i>	*	59	52	72	78	95	96
2	<i>Chamaecytisus ruthenicus</i>		*	41	62	65	91	94
3	<i>Onobrychis arenaria</i>			*	64	64	91	94
4	<i>Salvia pratensis</i>				*	97	93	96
5	<i>Salvia nutans</i>					*	96	94
6	<i>Medicago falcata</i>						*	85
7	<i>Festuca valesiaca</i>							*



Граф связи важнейших видов

The graph of correlations between the most important species

Цифры в кружках — номера видов (см. табл. 1). NED, %: а — < 50, б — NED < 60, в — NED > 60.

явление обычное в луговых степях и связано чаще всего с местами старых выбросов почвы землероями (обычно слепышами).

Возвращаясь к первой валовой таблице (табл. 1), мы видим, что хотя размещение выделенных после анализа типов участков и отражает изменение растительности по профилю от ровного приводораздельного склона к бровке степной балки, но наблюдаются и включения различных типологических участков среди достаточно однородных по структуре блоков площадок. При этом большинство видов с низким проективным покрытием почвы не проявляют очень заметного тяготения к этим двум основным типам сообществ. Можно лишь отметить, что у некоторых из них имеется невысокая степень сопряженности. *Amoria montana* чаще произрастает в сообществе с *Salvia pratensis*, чем на участках с заметным обилием *S. nutans*, а *Poa angustifolia* тяготеет к последним.

Таким образом, даже в случае с достаточно богатой видами растительностью остепненных лугов и луговых степей приведенный выше алгоритм анализа их фитоценотической структуры для целей класси-

фикации дает возможность вполне объективно распределить пробные площадки по фитоценозам на основе эколого-фитоценологических критериев.

Анализ сложных многоярусных сообществ (лесов, кустарников) целесообразно проводить отдельно по каждому ярусу. Затем в итоговой таблице описаний пробных площадей типы древостоя, подлеска, травостоя и мохово-лишайникового ярусов уже рассматривать в рамках соответствующих таксономических подразделений эколого-фитоценотической классификации (формаций, субформаций, классов и групп ассоциаций).

Приведенный здесь алгоритм анализа описаний пробных площадей фитоценозов использован при разработке компьютерной программы SENOTAB, элементы которой уже существуют в виде блоков подпрограмм по вычислению нормированной евклидовой дистанции (NED) и сортировке признаков по их значимости для классификационных построений.

**Итоговая сводная таблица описаний пробных площадей лугово-степных сообществ (проективное покрытие почвы, %)**

Resulting total relevé table for meadow-steppe follow oldfield plots (projective cover, %)

Тип сообществ		I		II			III			IV					V		VI				
Номера пробных площадей		5	6	12	14	11	19	16	15	18	13	9	10	17	8	4	20	7	1	2	3
1	<i>Chamaecytisus ruthenicus</i> (2)	10	25	20	25	30	10	–	10	15	15	10	15	10	25	25	30	30	10	5	20
2	<i>Onobrychis arenaria</i> (3)	10	25	30	25	15	10	25	20	25	25	10	15	10	15	5	20	25	–	10	–
3	<i>Centaurea arenaria</i> (1)	10	7	20	15	25	45	45	40	30	30	30	30	40	35	30	5	15	5	7	10
4	<i>Salvia nutans</i> (5)	15	5	15	35	25	7	–	20	15	–	–	–	–	–	10	–	–	5	–	–
5	<i>Salvia pratensis</i> (4)	–	15	–	–	–	–	–	–	–	15	35	30	30	20	15	30	35	35	55	40
6	<i>Medicago falcata</i> (6)	1	3	–	–	–	–	–	5	–	3	5	7	–	–	10	–	–	–	–	–
7	<i>Festuca valesiaca</i> (7)	1	1	1	1	2	–	–	–	1	–	–	–	2	1	1	3	1	1	1	1
8	<i>Elytrigia repens</i> (8)	1	1	1	1	1	–	1	1	–	1	–	1	–	1	1	1	1	3	2	1
9	<i>Bupleurum falcatum</i> (16)	1	–	–	–	1	–	–	–	–	–	–	2	–	1	–	1	–	1	2	1
10	<i>Asperula cynanchica</i> (9)	1	1	1	–	1	–	–	–	1	1	–	1	1	1	–	–	1	1	1	1
11	<i>Artemisia campestris</i> (13)	1	3	–	–	2	1	–	2	–	–	2	–	1	1	2	–	–	–	–	–
12	<i>Eryngium campestre</i> (12)	1	–	–	–	–	–	–	1	1	1	1	1	–	1	–	–	1	5	1	–
13	<i>Achillea millefolium</i> (10)	1	1	–	1	–	1	1	1	1	1	1	–	–	–	–	–	–	1	–	–
14	<i>Amoria montana</i> (17)	–	–	5	–	–	–	–	–	–	–	–	–	2	–	1	5	–	2	3	5
15	<i>Plantago media</i> (14)	–	–	2	–	–	7	–	–	2	–	1	–	5	–	–	2	2	–	–	1
16	<i>Fragaria viridis</i> (11)	–	2	–	–	1	1	–	–	1	1	1	–	1	–	2	–	5	1	2	3
17	<i>Agrimonia eupatoria</i> (21)	–	–	7	–	–	–	–	–	–	1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
18	<i>Poa angustifolia</i> (15)	–	1	–	1	–	1	1	–	1	–	1	–	1	–	1	–	–	–	–	–
19	<i>Polygala vulgaris</i> (20)	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1	–	–	1	1
20	<i>Bromopsis inermis</i> (18)	1	–	–	1	1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1
21	<i>Dactylis glomerata</i> (19)	–	1	–	–	1	–	–	–	–	–	1	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Примечание. В табл. 4 и 5 цифра в скобках при названии вида соответствует его номеру в табл. 1.

**Сводная таблица описаний пробных площадей фитоценозов балки Астрасьева яр, составленная по программе EСOPHYTO (проективное покрытие, %)**

Total relevé table for sample plots of the «Astrasyev Yar» ravine, composed by EСOPHYTO program (projective cover, %)

Тип сообществ		I		II			III			IV					V		VI				
Номера пробных площадей		5	6	12	14	11	19	16	15	18	13	9	10	17	8	4	20	7	1	2	3
1	<i>Salvia pratensis</i> (4)	–	15	–	–	–	–	–	–	–	15	35	30	30	20	15	30	35	35	55	40
2	<i>S. nutans</i> (5)	15	5	15	35	25	7	–	20	15	–	–	–	–	10	–	–	5	–	–	–
3	<i>Centaurea arenaria</i> (1)	10	7	20	15	25	45	45	40	30	30	30	40	35	30	5	15	5	7	10	–
4	<i>Onobrychis arenaria</i> (3)	10	25	30	25	15	10	25	20	25	25	10	15	10	15	5	20	25	–	10	–
5	<i>Chamaecytisus ruthenicus</i> (2)	10	25	20	25	30	10	–	10	15	15	10	15	10	25	25	30	30	10	5	20
6	<i>Amoria montana</i> (17)	–	–	5	–	–	–	–	–	–	–	–	–	2	–	1	5	–	2	3	5
7	<i>Asperula cynanchica</i> (9)	1	1	1	–	1	–	–	–	1	1	–	1	1	1	–	–	1	1	1	1
8	<i>Medicago falcata</i> (6)	1	3	–	–	–	–	–	5	–	3	5	7	–	–	–	10	–	–	–	–
9	<i>Bromopsis inermis</i> (18)	1	–	–	1	1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1
10	<i>Elytrigia repens</i> (8)	1	1	1	1	1	–	1	1	–	1	–	1	–	1	1	1	1	3	2	1
11	<i>Festuca valesiaca</i> (7)	1	1	1	1	2	–	–	–	1	–	–	–	2	1	1	3	1	1	1	1
12	<i>Poa angustifolia</i> (15)	–	1	–	1	–	1	1	–	1	–	1	–	1	–	1	–	–	–	–	–
13	<i>Eryngium campestre</i> (12)	1	–	–	–	–	–	–	1	1	1	1	1	–	1	–	–	1	5	1	–
14	<i>Artemisia campestris</i> (13)	1	3	–	–	2	1	–	2	–	–	2	–	1	1	2	–	–	–	–	–
15	<i>Achillea millefolium</i> (10)	1	1	–	1	–	1	1	1	1	1	1	1	–	–	–	–	–	1	–	–
16	<i>Bupleurum falcatum</i> (16)	1	–	–	–	1	–	–	–	–	–	–	2	–	1	–	1	–	1	2	1
17	<i>Fragaria viridis</i> (11)	–	2	–	–	1	1	–	–	1	1	1	–	1	–	2	–	5	1	2	3
18	<i>Dactylis glomerata</i> (19)	–	1	–	–	1	–	–	–	–	–	1	–	–	–	–	–	–	–	–	–
19	<i>Agrimonia eupatoria</i> (21)	–	–	7	–	–	–	–	–	–	–	1	–	–	–	–	–	–	–	–	–
20	<i>Plantago media</i> (14)	–	–	2	–	–	7	–	–	2	–	1	–	5	–	–	2	2	–	–	1
21	<i>Polygala vulgaris</i> (20)	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1	–	–	–	1	1

Приведенную выше табл. 4 можно сравнить с табл. 5, составленной для того же участка луговой степи с использованием программы EСOPHYTO (EСOSERVICE PHYTOCOENARIUM) (Нешатаев В. Ю., 1997), построенной на принципах ординации видов и описаний методом взаимного усреднения (reciprocal averaging; Hill, 1973). При этом наблюдается большое

сходство в размещении видов и пробных площадок. Оценка видов здесь приведена в баллах универсальной шкалы (Maarel, 1979). Однако это сходство неполное, так как размещение ряда видов в этих таблицах различается, например у *Chamaecytisus ruthenicus*, *Salvia pratensis*.

В заключение надо отметить, что массовый материал, собираемый в полевых условиях с применением выборочно-статистического метода, требует современных методов компьютерной обработки с использованием принципов научно обоснованной редукции и взвешивания анализируемых признаков растительного покрова. Временная редукция признаков на первых этапах количественного анализа как видов, так и описаний пробных площадей не только дает выигрыш в машинном времени, но и быстрее приводит к выделению наиболее значимых признаков и структурных типов растительного покрова.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Комолова С. А., Герасименко Г. Г., Прошкина Ю. А. 1995. Использование факторного анализа для уменьшения размерности пространства исходных признаков среды // Бот. журн. Т. 80. № 3. С. 245—260.
- Миркин Б. М. 1985. Методические указания для практикума по классификации растительности методом Браун-Бланке. Уфа. 32 с.
- Миркин Б. М. 1986. Теоретические основы современной фитоценологии. М. 178 с.
- Миркин Б. М., Розенберг Г. С. 1978. Фитоценология: принципы и методы. М. 212 с.
- Нешатаев В. Ю. 1997. Метод упорядочивания фитоценологических таблиц в информационно-статистической системе ЕСОРФУТО (ECOSERVICE PHYTOCOENARIUM) // Компьютерные базы данных в ботанических исследованиях. СПб. С. 73—75.
- Нешатаев Ю. Н. 1987. Методы анализа геоботанических материалов. Учебное пособие. Л. 192 с.
- Нешатаев Ю. Н., Плавников В. Г. 1974. Фитоценологический, флорогенетический, биологический, экологический анализ видового состава сосудистых растений среднерусских лесостепных дубрав // Бот. журн. Т. 59. № 3. С. 332—341.
- Пузаченко Ю. Г., Мошкин А. В. 1969. Информационно-логический анализ в медико-географических исследованиях // Итоги науки. ВИНТИ. Сер. Медицинская география. Вып. 3. С. 5—74.
- Раменский Л. Г., Цаценкин И. А., Чижиков О. Н., Антипин Н. А. 1956. Экологическая оценка кормовых угодий по растительному покрову. М. 472 с.
- Уланова Н. Г. 1995. Математические методы в геоботанике. М. 109 с.
- Черепанов С. К. 1995. Сосудистые растения России и сопредельных государств. М. 990 с.
- Du Rietz G. E., Fries Th. C. E., Osvald H. M., Tengwall T. A. 1920. Gesetze der Konstitution natürlicher Pflanzengesellschaften // Flora och fauna. Bd. 7. N 1. S. 58—69.
- Ellenberg H. 1956. Aufgaben und Methoden der Vegetationskunde // Einführung in die Phytologie. 136 S.
- Hill M. O. 1973. Reciprocal averaging: an eigenvector method of ordination // J. Ecol. Vol. 54. N 1. P. 234—249.
- Maarel E. van der. 1979. Transformation of cover-abundance values in phytosociology and its effects on community similarity // Vegetatio. Vol. 39. N 2. P. 97—114.
- Maarel E. van der, Janssen I. G. M., Louppen I. M. W. 1978. TABORD, a program for structuring phytosociological tables // Vegetatio. Vol. 38. N 3. P. 151—170.
- Raunkiaer C. 1918. Recherches statistiques sur les formations vegetales // Kgl. Danske Vidensk. Selsk. Biolog. Meddel. Vol. 1. N 3. P. 51—62.
- Schaminee J. Y. J., Hennekens S. M. 1996. Update of the installation of TURBOVEG in Europe // Ann. Bot. Vol. 53. N 1. P. 29—33.
- Tothmerezsz B. 1993. Nois elimination in gradient analysis // Abstracta botanica. In memoriam Pal Juhasz-Nagy. Vol. 17. Budapest. P. 75—87.
- Williams W. T., Lambert J. M. 1961. Multivariate methods in plant ecology. III. Inverse association-analysis // J. Ecol. Vol. 49. N 3. P. 35—43.

## SUMMARY

If one processes a huge amount of data when establishing the vegetation classification, it appears necessary to use the uniform algorithms of analysis. Such goals as distinguishing the reliable community types (associations or other syntaxa) involve the operational reduction of either the species list, or (more seldom) the sample plot set. This is especially useful for the analysis of multi-specific communities of meadows, steppes, or another types of markedly continuous polydominant vegetation with «fuzzy» structure of the herb layer.

As an example, the CENOTAB algorithm is applied for analyzing the vegetation of a small unit of meadow steppe (the former steppe oldfield) in the Belgorod region of Russia. The construction of plot relevé tables with the help of this software is based upon the analysis of both plot similarity and interspecific correlations (the Q / R analysis). The CENOTAB peculiarity is that of regard for species abundance and hence of calculating the normalized Euclidean distances in both cases; the classification accuracy increases this way.