

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МНОГОМЕРНОЙ СТАТИСТИКИ В ПОЧВОВЕДЕНИИ

А.А. Козлова, А.Д. Уткина
Иркутский государственный университет,
ул. Карла Маркса 1, г. Иркутск, 664003,
e-mail: allak2008@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9481-4798>;
e-mail: alina.utkina12@gmail.com

Применение методов многомерной статистики позволило установить связи и зависимости между различными параметрами почвы, что дало возможность выделить показатели, в наибольшей степени, влияющие на плодородие и здоровье почвы, а также обнаружить проблемные зоны, требующие особого внимания. С помощью программы Past 4.13. выполнены кластерный анализ, для создания дендрограмм, позволяющих объединять близкие группы, и метод главных компонент (РСА) многомерный анализ, используемый для упрощения сложной структуры данных.

Ключевые слова: показатели свойств почв, кластерный анализ, метод главных компонент.

APPLICATION OF MULTIDIMENSIONAL STATISTICS METHODS IN SOIL SCIENCE

A.A. Kozlova, A.D. Utkina

The use of multivariate statistics methods allowed us to establish relationships and dependencies between various soil parameters, which made it possible to identify indicators that have the greatest impact on soil fertility and health, as well as to identify problem areas that require special attention. Using the Past 4.13 program, cluster analysis was performed to create dendrograms that allow combining similar groups, and the principal component analysis (PCA) multivariate analysis was used to simplify the complex data structure.

Keywords: soil property indicators, cluster analysis, principal component analysis.

Применение методов многомерной статистики в почвоведении, является важным направлением исследований в связи с необходимостью более точного анализа данных о почвах, их свойствах и состоянии. Такие методы как кластерный анализ, метод главных компонент позволяют выявлять скрытые закономерности, упрощать сложные данные и делать более точные выводы о состоянии почвенного покрова. Однако в области почвоведения они применяются не так часто, как хотелось бы, что, по-видимому, связано со сложностью объекта исследования – почвой.

Целью исследования стало изучение и применение современных методов математической статистики на примере наиболее подвижных, динамичных свойств (гидротермических, агрохимических и биологических) дерново-бу-

ро-подзолистых почв Южного Предбайкалья для повышения эффективности анализа и интерпретации данных.

Объектами исследования стали естественные, агро- и постагрогенные дерново-буро-подзолистые почвы отдела текстурно-дифференцированных почв согласно Классификации-2004 [6, 7] или светло-серые лесные почвы по Классификации-1977 [8] Южного Предбайкалья, развитые в условиях палеокриогенного бугристо-западного микрорельефа. Они распространены в подтайге региона, развиваются под светлохвойно-лиственными (сосново-берёзовыми) и разреженными лиственными лесами с густым травянистым покровом и занимают вершины водоразделов и увалов [3, 9].

Анализ гидротермических (температура и влажность), агрохимических (рН водной суспензии, содержание гумуса) свойств проводился общепринятыми в почвоведении методами [1, 12]. Исследование биологической активности почв (БАП) проводилось в свежих образцах почв, отобранных на той же глубине. Для определения БАП был применен лабораторный экспресс-метод Т.В Аристовской и М.В. Чугуновой [2], который основывался на оценке скорости распада азотсодержащих органических соединений (например, карбамида) и изменении рН воздушной среды на 1,5–2,0 единиц, что происходило за счет высвобождения аммиака. Образцы фитомассы растений для подсчета продуктивности фито- и агроценозов отбирались с модельных площадок размером 25×25 см² в четвертой декаде июля и первой декаде августа [11].

В зависимости от принадлежности почв, фито- и агроценозов к угольям и по элементам микрорельефа с помощью программы Past 4.13. выполнены следующие методы многомерной статистики: [4, 5]: кластерный анализ – создание дендрограмм, позволяющих объединить близкие группы; метод главных компоненты – многомерный анализ, используемый для упрощения сложной структуры данных. Эти методы помогли провести детальный анализ данных, исследовать взаимосвязи переменных и сделать выводы о состоянии почв и их роли в экосистемах.

Применение метода кластерного анализа, выполненного на основе функциональных расстояний Говера (Gower) позволило сгруппировать объекты на основании сходства их характеристик [13]. Данный метод основан на вычислении расстояния между объектами, где расстояние определяется как мера различия между ними. Чем меньше расстояние, тем больше объектов похожих друг на друга. Дендрограмма, получаемая в результате кластерного анализа, представляет собой графическое представление иерархической структуры кластеров и показывает, как объекты объединяются в кластеры на разных уровнях сходства. Узлы на дендрограмме соответствуют объектам или кластерам, а длина ветвей отражает степень связи между ними. Значения на узлах показывают процентное отношение связей, что позволяет оценить степень близости объектов внутри кластеров (рис. 1а, б).

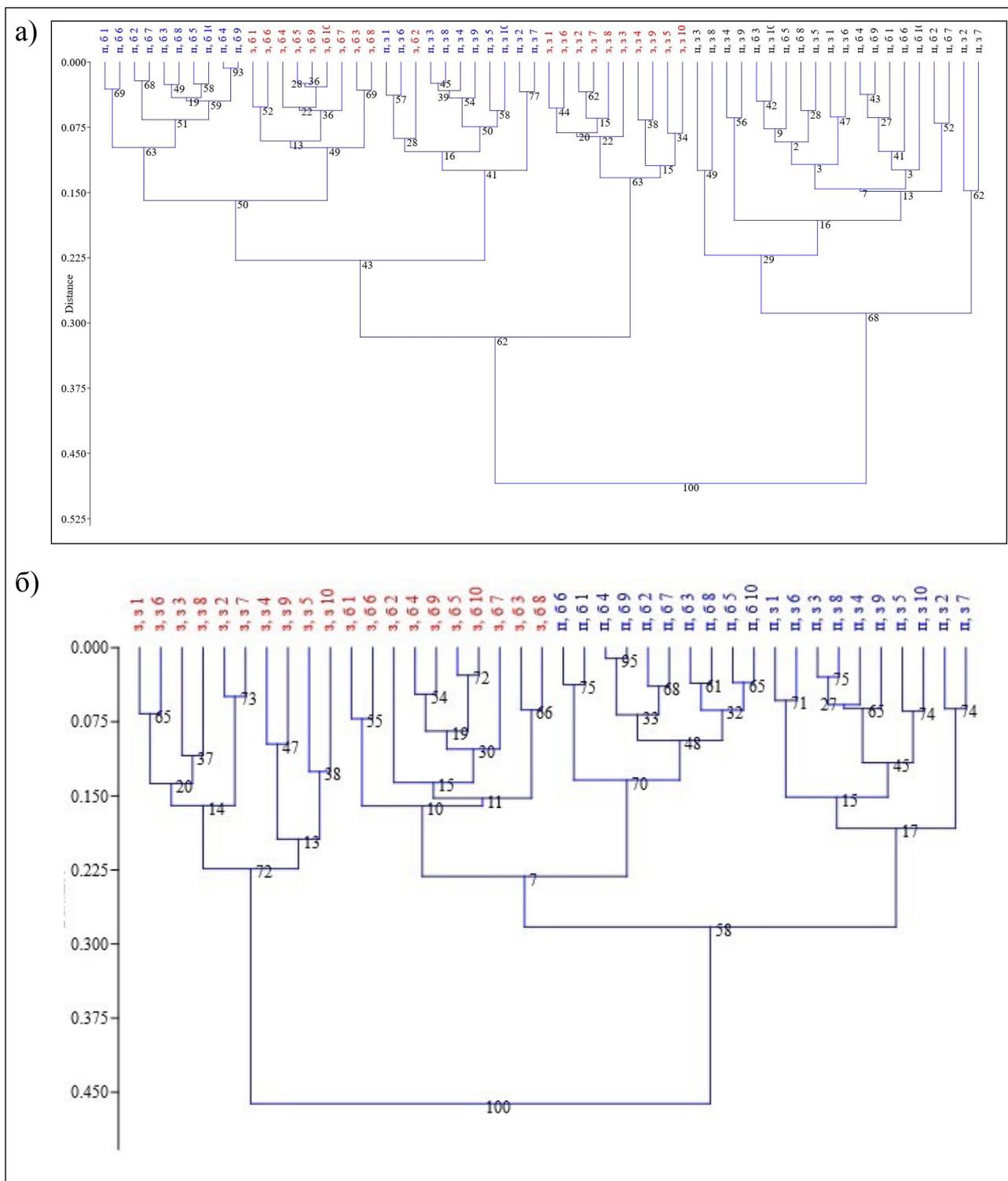


Рис. 1. Дендрограмма иерархического кластерного анализа а – целина, пашня, залежь; б – пашня, залежь. Обозначения: серый цвет объединяет почвы бугра и западины на целине, синий – на пашне, красный – на залежи

Fig. 1. Dendrogram of hierarchical cluster analysis a – virgin land, arable land, deposit; b – arable land, deposit. Designations: gray color unites the soils of the hillock and zapadina on virgin land, blue – on arable land, red – for deposits

Кластерный анализ позволил увидеть, что «Пашня, бугор» и «Залежь, бугор» имеют наиболее тесную связь среди всех исследуемых участков. Эта близость обусловлена особенностями расположения органического вещества на буграх, где есть хороший дренаж и аэрация, а также повышенная температура почвы за счет её прогрева не только сверху, но и со стороны склонов. Такие условия способствуют быстрой минерализации органического вещества и активизации биологических процессов. Возможно часть гумусовых веществ, в результате интенсификации процессов эрозии, мигрирует с поверхностным стоком в соседние западины, а также вниз по склону. Поэтому оба участка отличаются низким содержанием гумуса. Вместе с тем низкая биологическая активность почвы указывает на возможно интенсивное использование почв, ведущее к заметному снижению их плодородия. Почва «Пашни, западины» ближе к почвам «Пашни, бугра» и «Залежи, бугра», нежели к «Залежи западины», что свидетельствует о значительном агрогенном воздействии на почву. При этом здесь отмечается большее содержание гумуса и более высокая влажность, что делает почву более плодородной по сравнению с пашней на бугре. Таким образом, хотя на первый взгляд может показаться, что существует прямая зависимость между пашнями в западинах и залежами на буграх, дальнейший анализ показывает, что эта связь скорее случайная и не является определяющей.

Метод главных компонент (Principal Component Analysis, PCA) был проведён с целью уменьшения размерности данных путем нахождения новых координатных осей, которые объясняют максимальное количество дисперсии в исходных данных [10] (рис. 2а, б).

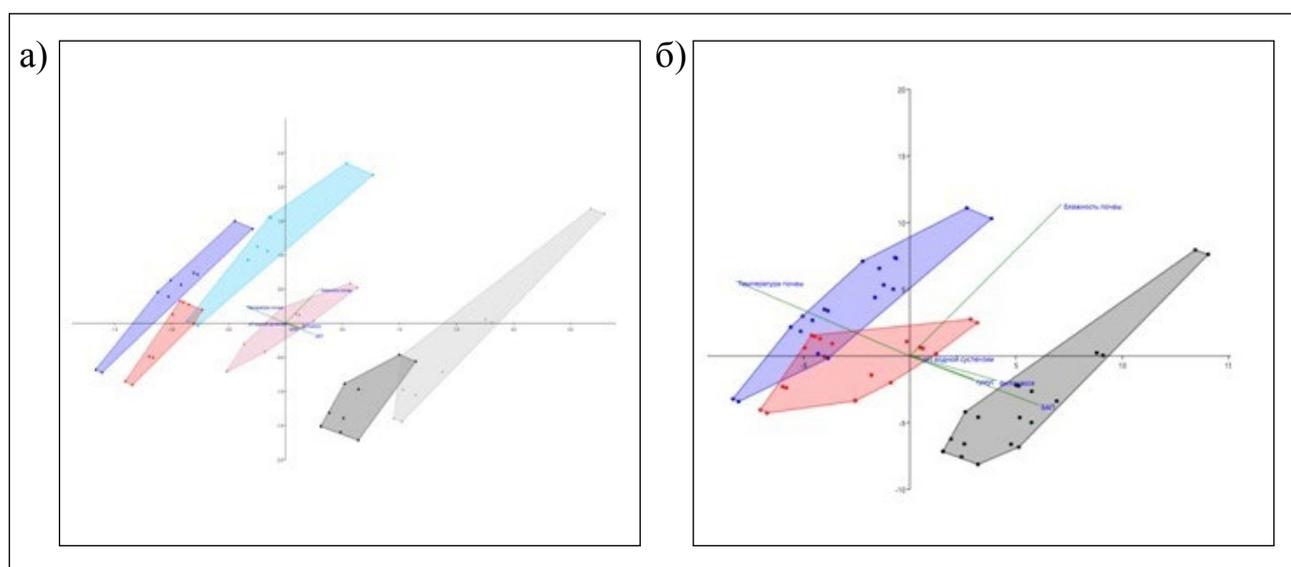


Рис. 2. График метод главных компонент (PCA) а – по угодьям; б – по микрорельефу. Обозначения: серый цвет объединяет почвы бугра и западины на целине, синий – на пашне, красный – на залежи

Fig. 2. Graph of the principal component method (PCA) a – by land; b – by microrelief. Designations: gray color unites the soils of the hillock and zapadina on virgin land, blue – on arable land, red – for deposits

Применение метода основано на евклидовом расстоянии между точками исходных данных, что делает его наиболее полезным, когда все переменные выражены в одной и той же единице измерения. График, полученный в результате анализа данных, представляет собой двумерное пространство, в котором каждая точка соответствует одному из исследованных участков (угодий). Оси графика отображают главные компоненты, которые являются линейными комбинациями исходных переменных: содержание гумуса, фитомасса, БАП, рН, влажность и температура почвы. Положение точек на графике указывает на схожесть или различие участков по совокупности этих параметров. Близко расположенные точки соответствуют участкам с похожими характеристиками, тогда как удалённые друг от друга точки указывают на участки с отличающимися условиями. Распределение точек на графике может также показывать наличие кластеров, то есть групп участков с близкими значениями параметров.

Метод главных компонент позволил выделить три основные группы угодий (см. рис. 2а), каждая из которых характеризуется своими специфическими почвенными параметрами. Первая группа, состоящая исключительно из целинных участков, что подтверждает их общие характеристики, независимые от рельефа. Результаты показали наиболее выраженную корреляцию с показателями гумуса, фитомассы и биологической активности почвы. Это свидетельствует о том, что целина сохраняет свои природные свойства, обеспечивающие высокую продуктивность и биологическое разнообразие. Почвы «Пашни» выделяются в отдельную группу, что подчеркивает её уникальные характеристики, обусловленные регулярной сельскохозяйственной деятельностью. Пашня, особенно расположенная на буграх, подвержена значительным колебаниям температуры из-за открытых участков почвы и отсутствия плотного растительного покрова. Регулярные механические обработки усиливают эти колебания. Также пашня требует постоянного ухода и внесения удобрений для поддержания плодородия, так как регулярные уборки урожая и обработки приводят к истощению запасов органического вещества. Почвы «Залежи» также образует отдельную группу, что указывает на её переходное состояние между целиной и пашней. Так как после вывода почвы из сельскохозяйственного оборота начинается постепенное её восстановление до уровня естественного состояния, это привело к увеличению содержания органического вещества и улучшению структуры почвы в сравнении с пашней. Но регенерация почвы происходит медленно, что отражается в сниженных значениях гумуса и биологической активности по сравнению с целиной.

Анализируя данные на рис. 2б, мы наблюдаем сходство связей в свойствах почв по элементам палеокриорельефа. Почвы «Целина, бугор» и «Целина, западина» расположены отдельно от пашни и залежи, при этом почвы пашни и залежи находятся близко друг к другу по показателям и даже пересекаются в некоторых значениях. Почвы «Пашня, бугор» и «Залежь, бугор» также демонстрируют схожесть значений. Почва «Залежь, западина» находится между целиной и пашней. В западине, как правило, сохраняется большой запас влаги из-за ее плохого дре-

нирования. Здесь наблюдается пышная растительность, накапливается большое количество органического вещества, что способствует увеличению содержания гумуса и улучшению структуры почвы.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Агрехимические методы исследования почв: Руководство / под ред. А.В. Соколова М.: Наука, 1975. 656 с.
2. Аристовская Т.В., Чугунова М.В. Экспресс-метод определения биологической активности почвы // Почвоведение. 1989. № 11. С. 142–147.
3. Воробьева Г.А. Почва как летопись природных событий Прибайкалья: проблемы эволюции и классификации почв. Иркутск: Изд-во Иркут. гос. ун-та, 2010. 205 с.
4. Геоинформационные системы в почвоведении и экологии. Интерактивный курс / Ю.Л. Мешалкина и др. М.: РГАУ-МСХА, 2010. 95 с.
5. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учебное пособие для вузов. М.: Высшая школа, 2004. 479 с.
6. Классификация и диагностика почв России / Авторы и составители Л.Л. Шишов и др. Смоленск: Ойкумена, 2004. 324 с.
7. Классификация почв России / М.И. Герасимова. URL: <http://soils.narod.ru/taxon/littl/razryd.htm> (дата обращения: 22.03.2025).
8. Классификация и диагностика почв СССР / Составители: В.В. Егоров и др. М.: Колос, 1977. 223 с.
9. Кузьмин В.А. Почвы Предбайкальского участка зоны БАМ // Почвенно-географические и ландшафтно-геохимические исследования в зоне БАМ. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1980. С. 11–98.
10. Метод Главных Компонент (РСА) / А. Померанцев // Российское хеометрическое общество. URL:<http://www.rusal.ru/aluminium/history> (дата обращения: 22.03.2025).
11. Программа и методика биогеоценотических исследований. М.: Наука, 1974. 401 с.
12. Теория и практика химического анализа почв / под ред. Л.А. Воробьевой. М.: ГЕОС, 2006. 400 с.
13. Торопчина Г. Н., Двоерядкина Н. Н., Вохминцева Г. П. Элементы кластерного анализа. Учебное пособие. Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2006. 42 с.

REFERENCES:

1. Agrohimicheskie metody issledovaniya pochv: Rukovodstvo / pod red. A.V. Sokolova M.: Nauka, 1975. 656 p.
2. Aristovskaya T.V., Chugunova M.V. Ekspress-metod opredeleniya biologicheskoy aktivnosti pochvy. *Pochvovedenie*. 1989, no. 11, pp.142–147.
3. Vorob'eva G.A. Pochva kak letopis' prirodnyh sobytij Pribajkal'ya: problemy evolyucii i klassifikacii pochv. Irkutsk: Izd-vo Irkut. gos. un-ta, 2010. 205 p.
4. Geoinformacionnye sistemy v pochvovedenii i ekologii. Interaktivnyj kurs / YU.L. Meshalkina i dr. M.: RGAU-MSKHA, 2010. 95 p.

5. Gmurman V.E. Teoriya veroyatnostej i matematicheskaya statistika: uchebnoe posobie dlya vuzov. M.: Vysshaya shkola, 2004. 479 p.
6. Klassifikaciya i diagnostika pochv Rossii / Avtory i sostaviteli L.L. Shishov i dr. Smolensk: Ojkumena, 2004. 324 p.
7. Klassifikaciya pochv Rossii / M.I. Gerasimova. URL: <http://soils.narod.ru/taxon/littl/razryd.htm> (accessed: 22.03.2025).
8. Klassifikaciya i diagnostika pochv SSSR / Sostaviteli: V.V. Egorov i dr. M.: Kolos, 1977. 223 p.
9. Kuz'min V.A. Pochvy Predbajkal'skogo uchastka zony BAM // Pochvenno-geograficheskie i landshaftno-geohimicheskie issledovaniya v zone BAM. Novosibirsk: Nauka. Sib. otd-nie, 1980. pp.11–98.
10. Metod Glavnyh Komponent (PCA) / A. Pomerancev // Rossijskoe hemometricheskoe obshchestvo. URL : <http://www.rusal.ru/aluminium/history> (accessed: 22.03.2025).
11. Programma i metodika biogeocenoticheskikh issledovanij. M.: Nauka, 1974. 401 p.
12. Teoriya i praktika himicheskogo analiza pochv / pod red. L.A. Vorob'evoj. M.: GEOS, 2006. 400 p.
13. Toropchina G. N., Dvoeryadkina N. N., Vohminceva G. P. Elementy klasternogo analiza. Uchebnoe posobie. Blagoveshchensk: Amurskij gos. un-t, 2006. 42 p.