

УДК 631.4

С. В. ГУБИН, С. Б. СТЕФАНОВ, С. А. ДЕМБОВСКИЙ

**ЧИСЛЕННАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ПОЧВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ  
ПО СОВОКУПНОСТИ МНОГИХ ПРИЗНАКОВ**

Рассмотрена возможность построения численной классификации почв по совокупности многих признаков с использованием метода морфокинетического синтеза. Построена численная классификация по химическим признакам для гумусо-аккумулятивных горизонтов 10 подтипов трех генетических типов почв, а также для полных профилей почв этих типов.

Под численной классификацией понимается такое взаимное размещение классифицируемых объектов, при котором можно определить в соответствующих единицах расстояния между любыми из них в выбранной системе координат. Почвенным объектом здесь называется любое целостное почвенное образование, описанное множеством признаков, место которого среди других подлежит определению, классификации. Под совокупностью многих признаков подразумеваются те реальные множества физических, химических, морфоструктурных, минералогических, биологических и других признаков, которые можно измерить в почве и которые должны быть совместно учтены в классификации.

Численная классификация по многим признакам является целью широкого фронта теоретических и математических исследований. Ниже описывается еще одна попытка, предпринятая в этом направлении.

Использован метод морфокинетического синтеза (МКС), предложенный и испытанный в биофизике, биохимии, морфологии, вирусологии [1—3]. Метод предназначен для работы с множествами сложных объектов или процессов, различающихся по многим признакам.

Прикладная задача данной работы формулируется так: испытать метод МКС на классификации почвенных объектов и сравнить полученную с его помощью классификацию с той, которая построена на основе традиционных методов почвоведения.

Были собраны и обработаны литературные данные по 10 наиболее часто определяемым химическим свойствам (таблица) для гумусо-аккумулятивных горизонтов 10 подтипов почв, относящихся к черноземному типу Центральной лесостепной и степной зоны, серым лесным и дерново-подзолистым почвам Центральной таежной зоны Европейской части СССР. Методом МКС были обработаны данные для черноземов обыкновенного (A1), выщелоченного (A2), оподзоленного (A3) и типичного (A4), а также для почв темно-серой лесной (C1), серой лесной (C2), светло-серой лесной (C3), дерново-слабоподзолистой (D1), дерново-подзолистой (D2) и дерново-сильноподзолистой (D3).

Методика МКС. Рабочая карта для МКС показана в таблице. Карта содержит название объекта и величины его признаков. Для каждого признака выделена одна колонка карты. Величины признаков вместе с их доверительными интервалами (здесь они вычислены при допущении нормальности распределения по таблицам Стрелкова [4]) записаны непосредственно под верхним обрезом карты. Число карт равно числу объектов в системе, подлежащей классификации. Строчки карты озаглавлены номерами объектов, подлежащих классификации. Строчка, соответствующая номеру данной карты, заранее заполняется знаками «0» (объект не отличается сам от себя).

Заполненная карта (матрица отношений) гор. А<sub>1</sub> выщелоченного чернозема А<sub>2</sub>

Объект	Признаки, их значения и доверительные интервалы									
	рН водный	рН солевой	гумус	ε	обменные основания		Σ обменных Ca <sup>++</sup> +Mg <sup>++</sup>	V, %	C:N	Гидролитическая кислотность Н'
					Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>				
линия сгиба										
	5,5±0,4	5,1±0,2	6,5±0,8	46,1±10	30,1±4,0	6,0±1,6	39,2±9,2	91±1,8	12,1±1,4	3,4±0,5
1 А1	+	-	0	0	-	0	0	-	0	+
2 А2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3 А3	-	0	0	0	0	0	0	0	0	-
4 А4	-	-	-	0	-	0	-	0	0	0
5 С1	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6 С2	0	0	0	+	+	+	+	0	0	0
7 С3	0	0	+	+	+	+	+	+	+	0
8 Д1	0	0	+	0	0	+	+	+	0	0
9 Д2	0	0	+	0	+	+	+	+	0	0
10 Д3	0	+	+	0	+	+	+	+	0	0

Карту объекта 1 располагают на столе, а сверху на нее накладывают карту 2 так, чтобы ее верхний обрез (сгиб) находился непосредственно под строчкой 2 карты 1. Оператор сопоставляет одноименные величины, находящиеся в одинаковых колонках обеих карт, и оценивает в доверительных границах, какая из них преобладает достоверно. Если очередная величина из карты 1 достоверно больше, чем одноименная ей в карте 2, то в соответствующей колонке карты 1 ставят «+», а в карте 2 в первой строке соответствующей колонки пишут «-». Недостоверное отличие записывается знаком «0» в обеих картах. Заполнив взаимно обратными знаками вторую строку карты 1 и первую строку карты 2, вторую карту откладывают. На карту 1 накладывают далее карту 3 так, чтобы ее верхний обрез находился точно под третьей строкой карты 1, и описанным выше приемом заполняют знаками отношений третью строку карты 1 и первую строку карты 3 и т. д.

В итоге первого цикла операций сравнения (соизмерения) вся карта 1 и все первые строки остальных карт заполняются взаимно обратными знаками отношений. Во втором цикле процедура повторяется с картой 2, в остальных циклах — со всеми остальными картами. Постепенно все строки всех карт заполняются знаками отношений каждой реализации каждого признака ко всем одноименным ей реализациям всех остальных карт.

Заполненные карты являются матрицами отношений. С этого момента каждый объект охарактеризован не только набором численных величин его признаков, но и результатами их соизмерения, которые выражены на безразмерном языке отношений. Сумма положительных, отрицательных и нулевых (незначительных) отношений изоморфно характеризует не только каждый объект как таковой, но и меру его изоморфизма (сходства, подобия) с остальными в данной системе. Матрицы отношений сложны по форме. Их можно выразить более плотным кодом для того, чтобы классификация в пространстве отношений стала наглядной, но не потеряла численной строгости. Эта цель достигается простыми арифметическими операциями и суммами отношений:

$$\Sigma_{+} : \Sigma_{+, -, 0} = KO_{+} \text{ (коэффициент отличий по плюсам)}$$

$$\Sigma_{-} : \Sigma_{+, -, 0} = KO_{-} \text{ (коэффициент отличий по минусам)}$$

Коэффициенты отличий служат координатами аналога объекта в поле отличий, которое представляет собой равнобедренный прямоуголь-

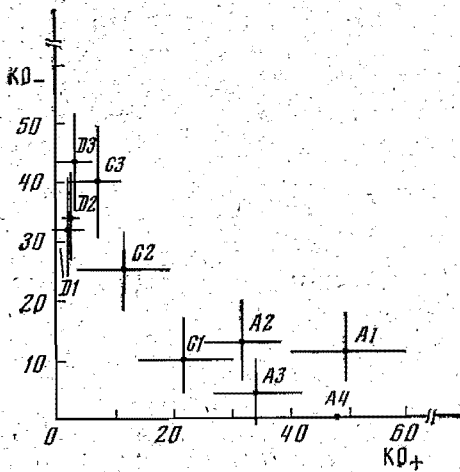


Рис. 1

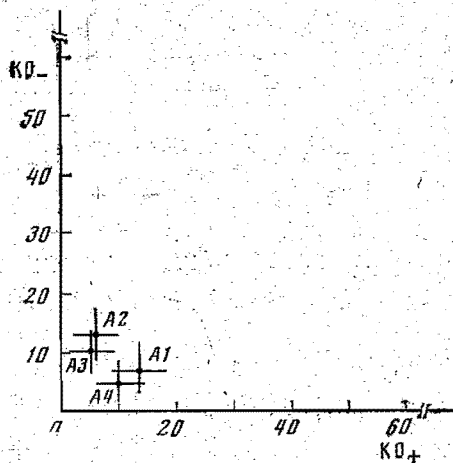


Рис. 2

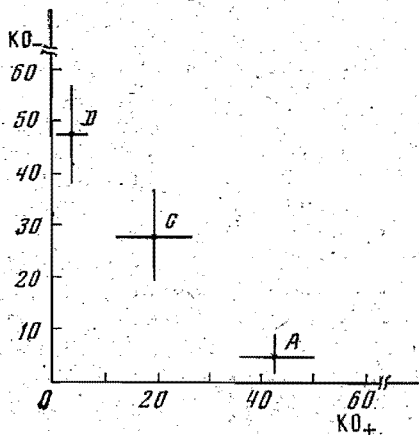


Рис. 3

Рис. 1. Размещение в поле отличий гумусо-аккумулятивных горизонтов 10 подтипов почв по 10 признакам

Рис. 2. Размещение в поле отличий иллювиальных горизонтов четырех подтипов черноземов по пяти признакам

Рис. 3. Размещение в поле отличий трех типов почв: черноземов (А), серых лесных (С) и дерново-подзолистых (Д)

ный треугольник (рис. 1—3). Его катеты символизируют  $+100\%$  и  $-100\%$ , т. е. теоретически максимально возможную долю положительных или отрицательных отличий от всех отличий в данной системе.

Каждый аналог объекта в этом поле представлен в виде точки, т. е. в предельно уплотненной форме. Положение точки задано координатами ее в виде  $KO_+$  и  $KO_-$  и представляет собой системную характеристику объекта, выражающую его место среди остальных (в системе остальных). Вся система объектов приобретает наглядное размещение. Но поскольку координаты размещения численно зависят от соотношений всех признаков всех объектов, то это размещение является в свою очередь аналогом классификации этих объектов на численной основе.

Результаты и обсуждение. На рис. 1 показана численная классификация гумусо-аккумулятивных горизонтов 10 подтипов почв трех генетических типов по 10 признакам. Видно, что А1, А2, А3 и А4 являются антиподами D1, D2 и D3 и высокодостоверно отличаются от них (доверительные границы их не пересекаются). Между ними расположены С1, С2 и С3. При этом С1 имеет черты сходства с А2, а С2 и С3 сходны друг с другом, но достоверно отличаются как от группы А и D, так и от С1.

С1 связан с С2 и С3 по критериям внешним относительно тех 10 признаков, которые использованы для данной классификации. Если связь

C1 с C2 и C3 по общим соображениям будет признана более важной, чем показанное достоверное отличие по 10 признакам, то C1 войдет в группу С, а не в группу А, как следовало бы формально из их территориальной близости по рис. 1. Решение этого вопроса формальным путем непродуктивно; здесь необходимо использовать все ранее накопленные знания, критически их осмыслив.

Допустим, однако, что накопленные знания не позволяют достоверно снять альтернативу. Это значит, что нужно продолжить исследование: набрать новые признаки, более точно измерить использованные, увеличить число измерений, т. е. получить более полные сведения об объектах для того, чтобы точнее их классифицировать. Классификация по 10 признакам менее строга, чем по 20 или 30. Если измерения грубы или разброс данных велик, классификация также окажется несовершенной. Наконец, достоверность классификации возрастет, если в нее включить большее число анализов образцов.

Для метода МКС не представляет каких-либо затруднений разработка классификации, например, 50—100 объектов по 20—50 признакам, даже если выполнять процедуру вручную (ее перевод на ЭВМ вполне доступен). Оценивая быстродействие МКС, следует сопоставлять его с темпом набора первичных данных.

Рис. 1 дает наглядное представление о взаимоотношениях объектов по выбранным 10 признакам. Введение одиннадцатого признака или исключение каких-либо из использованных может существенно изменить классификацию. Исключают признаки, когда хотя бы проверить, реальна ли та близость объектов, о которой формально говорит размещение в поле отличий (как, например, C1 и A2, C1 и A3). Если объекты реально близки, то при исключении любых признаков точки аналогов останутся близкими в поле отличий. Если реальные объекты несходны, а точки их аналогов легли рядом в силу чисто формального совпадения сумм плюсов и минусов (без учета того, по каким именно признакам имелись те или иные отличия), то при исключении некоторых признаков точки могут существенно изменить свое взаимное расположение. Это докажет, что близость их в поле отличий по совокупности признаков была формальной.

Так, анализ объектов по четырем признакам — содержанию гумуса, сумме поглощенных Са<sup>2+</sup> и Mg<sup>2+</sup>, степени насыщенности основаниями, C:N — подчеркивает близость C1 с группой А и в особенности с объектом A2 этой группы, что соответствует современным географо-генетическим представлениям об этих почвах. Также четко увязывается с современными классификационными воззрениями крайне правое положение A4, реализации которого по 10 и 4 признакам оказались преобладающими.

Таким образом, рис. 1 показывает такую классификацию 10 почвенных объектов, охарактеризованных лишь по 10 химическим признакам гумусо-аккумулятивных горизонтов, которая не противоречит современной генетической почвенной классификации. Метод МКС был использован также для классификации объектов группы А по 5 химическим признакам иллювиальных гор. В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>, ВС. Классификация этих горизонтов, которые даже на первый взгляд представляются весьма сходными, показана на рис. 2. Все точки-аналоги расположились в непосредственной близости от начала координат, что доказывает наличие большого количества незначимых отличий внутри этой системы. По использованным признакам эти четыре объекта не удается уверенно отличать друг от друга, их доверительные границы пересекаются многократно.

Полученная картина для почв черноземного типа соответствует объективной реальности, при которой в генетической классификации черноземов рассматриваемые нами химические признаки нижней части профиля ввиду их значительного сходства у разных подтипов не играют определяющей роли.

При построении численной классификации почв как природных тел с определенной совокупностью генетических горизонтов по их химическим свойствам на уровне типа и подтипа с помощью метода МКС использовали как отличия признаков между соответствующими горизонтами, так и отличия по разности содержания того или иного компонента в смежных горизонтах или расположенных в различных частях профиля. Например, отличия по разности содержания гумуса в гор. А и В<sub>1</sub>, В<sub>1</sub> и В<sub>2</sub>, В<sub>2</sub> и ВС, а также А<sub>1</sub> и В<sub>2</sub>, А<sub>1</sub> и ВС одних и тех же профилей. Данные подобного рода несут в себе генетический смысл и использование их в МКС-анализе позволяет увеличить количество сравниваемых признаков и получить более глубокую характеристику объекта.

Были рассчитаны средние точки и их доверительные интервалы трех рассматриваемых типов почв — черноземов (А), серых лесных (С) и дерново-подзолистых (D).

Их координаты вычисляют следующим образом: суммируют положительные отличия всех членов данного типа и сумму делят на сумму всех взаимоотношений всех членов данного типа ко всем остальным членам классифицируемой системы. То же проделывают с отрицательными отношениями. Получают среднегрупповые КО<sub>+</sub> и КО<sub>-</sub>, по которым находят положение точки-аналога всего типа в том же поле отличий (его масштаб постоянен). На рис. 3 показано расположение средних точек групп А, С и D. Значительное расхождение их доверительных границ говорит о высокодостоверном различии между ними.

Таким образом, метод позволяет классифицировать не только исходные объекты, но и их группы с различной степенью обобщения. Численный характер классификации сохраняется на любом уровне обобщения.

Численная классификация почвенных объектов методом морфокинетического синтеза, определяя меру различий между классифицируемыми объектами, дополняет и развивает существующую генетическую классификацию.

#### Литература

1. Стефанов С. Б. Выявление связей морфологических данных при исследовании морфогенеза. Деп. ВИНТИ, № 149—74, 23.I.1974.
2. Стефанов С. Б. Морфокинетический синтез отношений пространственных и функциональных данных. Биофизика, т. 19, № 5, 1964.
3. Стефанов С. Б., Янев Т. К., Чакаров Е. Л. Возможность преобразования информации и упрощения операций в многомерных задачах морфокинетического синтеза. София, Медицинская техника, 1974, № 4.
4. Стрелков Р. Б. Методы вычисления стандартной ошибки и доверительных интервалов средних арифметических величин с помощью таблицы. Сухуми, 1966.

Институт агрохимии и почвоведения  
АН СССР  
Институт полиомиелита и  
вирусных энцефалитов  
АН СССР

Дата поступления  
4.XI.1974 г.

V. S. GUBIN, S. B. STEFANOV, S. A. DEMBOVSKY

#### NUMERICAL CLASSIFICATION OF SOILS ACCORDING TO THE WHOLE COMPLEX OF MANY FEATURES

The possibility of constructing a numerical classification of soils according to the whole complex of many features using the method of morphokinetic synthesis is considered. A numerical classification has been constructed according to chemical features for humus-accumulative horizons of 10 subtypes of three genetic soil types and for complete profiles of these soil types.