

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РАБОТЫ И КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ**

УДК 631.42

**О. Г. ЧЕРТОВ, Г. Б. МЕЛЬНИЦКАЯ, С. О. ГРИГОРЬЕВА,  
Б. Н. РЯБИНИН****О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФАКТОРНОГО  
АНАЛИЗА В ПОЧВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ**

Рассматриваются результаты использования факторного анализа для оценки структуры матрицы коэффициентов корреляции признаков поверхностно-подзолистых гумусово-железо-иллювиальных песчаных почв и подзолистых контактно-глееватых супесчаных и суглинистых почв на моренных суглинках. Дается интерпретация выделенных факторов и оцениваются возможности использования факторного анализа в почвоведении.

Факторный анализ в системе методов математической статистики [5, 7] интересен тем, что его математический аппарат позволяет выявить факторы формирования матрицы корреляции. Предполагается, что эти факторы независимы, число их значительно меньше непосредственно измеряемых признаков и они определяют структуру матрицы корреляций. Метод дает количественное выражение действия каждого такого фактора в процентах от их совместного влияния и указывает коэффициенты корреляции между измеряемыми признаками и факторами. Это последнее обстоятельство дает возможность интерпретировать результаты факторного анализа, т. е. определять название каждого фактора с точки зрения сути корреляции признаков анализируемого множества экспериментов или наблюдений.

Первоначально факторный анализ применяли в области психологии, затем его стали использовать в географии [12, 15] для анализа размещения сельскохозяйственного производства. Есть попытки использования факторного анализа в ботанике [17] и в почвоведении в связи с числовой таксономией почв [14] и решением генетических задач [16]. В последнее время факторный анализ привлек внимание лесоводов [2, 4, 6] с целью получения информации об основных экологических факторах и режимах, определяющих специфику лесных биогеоценозов. Такая постановка задачи привела нас к мысли попытаться использовать факторный анализ для сходной цели — возможности определения почвенных режимов по материалам сравнительно-географических исследований почв — и оценить возможности этого метода в целом.

Изучение почв проводили в Выборгском, Подпорожском, Бокситогорском и Тихвинском районах Ленинградской обл. по программе совместного исследования почв и лесной растительности. Перед заложением почвенного разреза делали от 5 до 10 прикопок с целью установления структуры почвенного покрова и после этого копали разрез на преобладающей почве. Мощность подстилки и гумусового горизонта определяли

по 30 прикопкам, из них же брали смешанные образцы. Остальные образцы брали из разреза.

В связи с экологической направленностью исследований в аналитическую обработку поступали образцы подстилки, гумусового горизонта и гор. ВС (С) с целью получения наиболее полной характеристики аккумулятивной части профиля и почвообразующей породы. В образцах определяли кислотно-основные свойства, механический состав, углерод, азот, зольный состав подстилки (фосфор, калий, сумма кальция и магния) и растворимые после прокалывания в соляной кислоте (по методике зольного анализа) те же элементы минеральных горизонтов — фосфор, калий, сумму кальция и магния. Для подстилки определяли запасы элементов-органогенов на основе измерения веса подстилки по палетке  $0,1 \text{ м}^2$ . В итоге каждый почвенный разрез был охарактеризован 50 аналитическими и 5—6 морфометрическими признаками. В математическую обработку были отобраны два массива: один, характеризующий поверхностно-подзолистые гумусово-железо-иллювиальные песчаные и супесчаные почвы на мощных песках с залеганием уровня грунтовых вод глубже 5 м (20 разрезов); другой, представляющий собой подзолистые контактно-глееватые супесчаные и суглинистые почвы на моренных бескарбонатных суглинках с выраженной двучленностью профиля (53 разреза).

Эти массивы обрабатывали по программе факторного анализа, разработанного в лесоводственных целях для ЭВМ «Минск-22» [6]. Предварительно все признаки проверяли на соответствие гипотезе нормального распределения и непараметрические показатели отбрасывали. В связи с ограничениями программы по числу обрабатываемых признаков (не более 30) исходные данные по каждой группе почв разбивали на 2 подгруппы по 15—20 признаков. Для возможности сведения результатов факторного анализа в одну систему часть признаков в подгруппах являлась общей. Результаты факторного анализа по обоим группам почв представлены в табл. 1—4. В числителе указаны итоги факторного анализа по методу максимального правдоподобия, в знаменателе — данные, полученные после вращения факторов по критерию «варимакс», являющиеся окончательным результатом работы программы.

Интерпретация результатов факторного анализа в отношении поверхностно-подзолистых гумусово-железо-иллювиальных песчаных и супесчаных почв на мощных песках с профилем типа  $A_0-A_1A_2-AB_n-B-C$  сосняков беломошных вересковых и брусничных (табл. 1 и 2), обстоятельно охарактеризованных в литературе [9, 11, 13], позволяет дать следующую характеристику выделенных факторов.

Фактор 1 табл. 1 с весом (факторной нагрузкой) 24% по взаимной скоррелированности запасов элементов-органогенов в гор.  $A_0$  может быть назван «биологическая аккумуляция в подстилке». Это наиболее сильный фактор, выявленный на основе рассмотрения данной совокупности признаков. Фактор 3 табл. 1 и фактор 2 табл. 2 с максимальной факторной нагрузкой 22% по высоким коэффициентам корреляции с илом, суммой обменных оснований и фосфора в почвообразующей породе можно определить как «богатство почвообразующей породы (механический состав почвообразующей породы)».

Фактор 5 табл. 1 и фактор 3 табл. 2 с довольно высокой факторной нагрузкой (16%) имеет высокие коэффициенты корреляции с фосфором в гор.  $A_1A_2$ , величиной рН в минеральных горизонтах и разрозненно по некоторым другим показателям матрицы, полученной по методу максимального правдоподобия. Интерпретация этого фактора затруднительна и можно только предположить, что такая структура может определяться действием пожаров на свойства поверхностно-подзолистых гумусово-железо-иллювиальных почв, что совпадает с полученными ранее данными [13]. Ориентировочно этот фактор был назван «влияние пожаров».

Фактор 4 табл. 1 и табл. 2 с максимальным весом 15% при высокой скоррелированности с мощностью и обменными основаниями подстилки, а также гидролитической кислотностью, отражающий влияние грубогумусной подстилки, являющейся в условиях потенциальной сухости фактором улучшения плодородия почв [8, 13] и режима влажности, можно назвать «грубый гумус (градиент влажности)».

Фактор 5 табл. 2 со сравнительно небольшой факторной нагрузкой (11%) при высоком коэффициенте корреляции с мощностью поверхностного подзолистого гор.  $A_1A_2$  и довольно большим, но обратным знаком, с основаниями и калием почвообразующей породы, вероятнее всего, представляет собой «поверхностное оподзоливание». И наконец фактор 2 табл. 1 и фактор 1 табл. 2 по корреляции с мощностью гор.  $AB_n$ , являющегося своеобразным аккумулятивно-иллювиальным горизонтом этих почв, и калием в гор.  $A_1A_2$  можно отнести к «фактору формирования гор.  $AB_n$ ».

Для подзолистых контактно-глееватых супесчаных и суглинистых почв на моренных бескарбонатных суглинках с профилем типа  $A_0-A_1(A_1A_2)-A_2-(B_1)-A_2B-B-C$ , генезис и свойства которых изучены довольно подробно [1, 3], на основании приведенных в табл. 3 и 4 данных представляется возможным дать следующую интерпретацию выделенным факторам.

Фактор 3 табл. 3 с самой высокой факторной нагрузкой (17%) имеет высокие коэффициенты корреляции с запасами элементов-органогенов в подстилке и поэтому его можно назвать «биологическая аккумуляция в подстилке».

Фактор 2 табл. 3 и фактор 5 табл. 4 с факторной нагрузкой 16% по коррелированности с углеродом, азотом, фосфором и калием гумусового горизонта может быть интерпретирован как «биологическая аккумуляция и гумусообразование в гор.  $A_1$ ».

Фактор 4 табл. 3 и фактор 2 табл. 4 с весом 15% — это «сопряженность формирования гор.  $A_0$  и  $A_1$ », поскольку мощность этих горизонтов имеет с этим фактором довольно высокие разнозначные коэффициенты корреляции.

Фактор 1 табл. 4 с нагрузкой 12% имеет высокие коэффициенты корреляции с обменными основаниями и калием в гор.  $C$  и поэтому характеризуется как «богатство почвообразующей породы».

Фактор 3 табл. 4 с весом 11% по связи с мощностью подзолистого горизонта и обратным знаком — ила и обменных оснований почвообразующей породы может быть отнесен к «фактору подзолообразования». И наконец фактор 1 табл. 3 с небольшой факторной нагрузкой (10%) по всей вероятности отражает влияние водного режима на свойства подстилки. Поэтому, как и для поверхностно-подзолистых почв, его с известным допущением можно назвать «грубый гумус (градиент влажности)», хотя экологическое значение этого фактора для подзолистых контактно-глееватых почв обратно значению для почв на мощных песках.

Подводя итог вышеизложенному, можно заключить, что часть выделенных факторов согласуется с классическими факторами почвообразования В. В. Докучаева. Это прежде всего факторы богатства почвообразующей породы, идентифицированные для обеих рассматриваемых групп почв. Влияние живых организмов, главным образом лесной растительности, отражает факторы биологической аккумуляции в подстилке и гумусовом горизонте. Остальные же факторы в основном указывают на наличие взаимной скоррелированности признаков по связи с генетическими характеристиками почв. Это факторы сопряженности формирования аккумулятивных горизонтов, подзолообразования и образования гор.  $AB_n$ . В этом отношении результаты факторного анализа дают довольно интересные результаты, проясняющие влияние тех или иных поч-

Таблица 1

Коэффициенты корреляции между факторами и признаками аккумулятивной части профиля поверхностно-подзолистых гумусово-железо-иллювиальных песчаных и супесчаных почв Ленинградской обл.

Номер фактора	Мощность горизонта, см			Вес $A_0$ , кг/м <sup>2</sup>	Запас в $A_0$ , кг/м <sup>2</sup>				Содержание в $A_1A_2$ , %					Содержание частиц <0,001 мм, %		Сумма обменных оснований, мг-экв/100 г		рН солевой		Вес фактора, %
	$A_0$	$A_1A_2$	$AB_h$		C	N	$P_2O_5$	$K_2O$	C	N	Ca+Mg	$P_2O_5$	$K_2O$	$A_1A_2$	C	$A_0$	$A_1A_2$	$A_0$	$A_1A_2$	
1	0,15	0,007	-0,11	0,98	0,91	0,93	0,78	0,85	0,21	0,51	-0,23	0,11	0,02	0,63	0,28	0,07	-0,08	-0,30	0,13	26,39
	0,12	-0,11	-0,11	0,95	0,82	0,85	0,87	0,96	0,06	0,56	0,01	0,04	0,15	0,44	0,09	0,04	-0,14	-0,17	0,22	24,62
2	0,02	-0,28	-0,98	-0,005	0,03	0,001	-0,03	0,05	-0,16	-0,15	0,25	-0,32	-0,60	0,13	-0,25	-0,21	-0,10	-0,09	-0,16	9,39
	0,04	-0,07	-0,90	0,09	0,18	0,09	-0,07	-0,03	-0,005	-0,19	-0,02	-0,01	-0,79	0,34	-0,16	-0,18	-0,09	-0,18	-0,05	9,28
3	-0,14	-0,43	0,04	-0,04	-0,12	0,04	0,26	0,36	-0,38	0,16	0,77	-0,22	0,56	-0,42	-0,36	-0,08	0,21	0,45	0,20	11,24
	0,02	-0,23	-0,13	-0,25	-0,25	-0,29	0,03	0,16	-0,37	0,02	0,85	-0,01	0,23	-0,58	-0,81	-0,03	-0,06	0,53	0,38	13,99
4	-0,72	-0,39	-0,02	-0,003	-0,20	0,02	0,09	-0,16	-0,30	-0,21	-0,13	0,01	-0,11	0,27	0,48	-0,53	0,39	0,04	0,002	8,74
	-0,89	-0,59	-0,13	0,03	-0,40	-0,25	0,38	0,07	-0,65	-0,11	0,26	-0,002	-0,06	-0,03	0,006	-0,73	0,01	0,28	0,32	14,70
5	-0,19	0,11	-0,01	-0,003	0,11	0,01	-0,03	-0,06	-0,09	-0,15	0,19	0,77	-0,24	0,07	-0,40	-0,15	0,21	0,39	0,69	8,62
	-0,22	0,26	0,30	0,13	0,13	-0,02	0,10	-0,04	-0,02	-0,05	-0,09	0,88	-0,17	0,13	-0,24	-0,14	0,01	0,27	0,73	9,31

Таблица 2

Коэффициенты корреляции между факторами и признаками минеральных горизонтов поверхностно-подзолистых песчаных и супесчаных почв Ленинградской обл.

Номер фактора	Мощность горизонта, см				Содержание частиц <0,001 мм, %		Содержание в $A_1A_2$ , %			Содержание в гор. С, %			рН солевой		Гидролитическая кислотность		Сумма обменных оснований		Вес фактора, %
	$A_0$	$A_1A_2$	$AB_h$	сумма гор. В	$A_1A_2$	C	Ca+Mg	$P_2O_5$	$K_2O$	Ca+Mg	$P_2O_5$	$K_2O$	$A_1A_2$	C	мг-экв/100 г		$A_1A_2$	C	
															$A_1A_2$	C			
1	-0,01	0,30	0,99	-0,30	-0,11	0,33	-0,30	0,33	0,58	-0,15	0,20	0,12	0,10	0,10	-0,13	-0,15	0,15	0,02	10,92
	0,06	0,08	0,93	-0,15	-0,26	0,25	-0,08	0,11	0,80	0,02	-0,06	0,30	0,06	-0,07	0,07	-0,16	0,06	-0,22	10,40
2	-0,10	0,11	0,10	0,48	-0,45	-0,92	0,51	0,52	0,66	0,46	-0,63	-0,68	-0,60	0,56	0,22	0,12	-0,13	-0,34	21,10
	-0,04	-0,17	-0,10	0,45	0,71	-0,81	0,80	-0,23	0,32	0,64	-0,90	-0,18	0,20	0,11	0,07	-0,05	-0,01	-0,62	21,76
3	0,14	-0,23	0,08	0,18	-0,64	-0,17	0,49	-0,75	0,57	0,33	-0,64	0,40	-0,30	-0,42	-0,04	-0,23	0,02	-0,57	16,78
	0,36	-0,11	-0,20	-0,14	-0,08	0,42	-0,10	-0,94	0,17	-0,24	-0,01	0,59	-0,72	-0,72	-0,005	-0,14	0,01	-0,15	15,61
4	-0,67	-0,18	-0,02	0,11	-0,25	-0,01	0,17	-0,01	0,20	-0,30	-0,05	-0,05	0,13	0,20	-0,92	-0,49	0,11	0,29	10,85
	-0,59	-0,13	0,15	0,10	-0,28	0,15	0,01	-0,09	-0,12	0,15	0,01	0,03	0,002	0,06	-0,92	-0,58	0,04	0,33	10,29
5	-0,47	-0,78	-0,02	0,22	0,06	0,08	0,38	0,17	0,34	0,54	-0,16	0,45	0,39	-0,02	0,17	-0,11	-0,16	-0,02	10,69
	-0,47	-0,83	-0,21	0,12	0,13	0,20	0,37	-0,06	0,23	0,51	-0,09	0,60	0,22	-0,14	0,04	-0,12	-0,06	0,01	10,74

Таблица 3

Коэффициенты корреляции между факторами и признаками аккумулятивной части профиля подзолистых контактно-глееватых супесчаных и суглинистых почв на бескарбонатных моренных суглинках Ленинградской обл.

Номер фактора	Мощность горизонта, см			Запас в $A_0$ , кг/м <sup>2</sup>					Содержание в $A_0$ , %					Содержание частиц <0,001 в гор. С, %	рН солевой		Вес фактора, %
	$A_0$	$A_1$	$A_2$	С	N	Ca+Mg	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	С	N	Ca+Mg	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O		$A_0$	$A_1$	
1	0,52	-0,40	0,27	0,94	0,79	0,57	0,91	0,58	0,14	-0,21	-0,10	0,04	-0,13	-0,34	-0,60	-0,37	26,22
	0,65	-0,25	0,05	0,66	0,58	0,05	0,08	0,20	0,06	-0,13	0,08	-0,30	-0,02	-0,27	-0,17	-0,24	9,97
2	-0,39	0,51	-0,01	0,01	0,13	0,32	0,12	0,28	0,88	0,94	0,32	0,72	0,41	0,01	0,25	0,45	20,82
	-0,24	0,34	0,06	0,001	0,06	-0,06	-0,06	0,21	0,80	0,82	0,42	0,74	0,57	-0,07	0,10	0,16	16,53
3	0,44	-0,01	-0,03	0,29	0,26	-0,28	-0,34	-0,01	0,14	0,08	0,22	-0,17	0,18	-0,17	0,04	-0,15	4,66
	-0,06	0,01	-0,14	-0,61	-0,59	-0,81	-0,87	-0,53	-0,36	-0,17	0,11	-0,23	-0,14	0,15	0,24	-0,11	17,32
4	-0,01	0,21	-0,22	0,03	0,13	0,43	-0,02	-0,05	-0,07	0,02	-0,17	-0,41	-0,36	0,12	0,39	0,46	6,37
	-0,36	0,54	-0,32	-0,39	-0,21	0,16	-0,44	-0,22	0,20	0,46	0,04	0,10	-0,06	0,24	0,70	0,69	14,23

Таблица 4

Коэффициенты корреляции между факторами и признаками минеральных горизонтов подзолистых контактно-глееватых супесчаных и суглинистых почв на бескарбонатных моренных суглинках Ленинградской обл.

Номер фактора	Мощность горизонта, см			Содержание частиц <0,001 мм в гор. С, %	Содержание в $A_1$ , %			Содержание в гор. С, %		рН солевой		Гидролитическая кислотность, мг-экв/100 г		Сумма обменных оснований в гор. С, мг-экв/100 г	Вес фактора, %
	$A_0$	$A_1$	$A_2$		Ca+Mg	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca+Mg	K <sub>2</sub> O	$A_1$	С	$A_1$	С		
1	-0,12	0,19	0,001	0,15	-0,91	-0,21	-0,43	-0,54	-0,48	-0,22	-0,23	-0,10	-0,16	0,19	13,03
	-0,21	0,21	0,15	0,004	-0,77	0,10	-0,24	-0,59	-0,73	-0,26	0,02	0,13	-0,02	-0,02	12,52
2	0,60	-0,74	0,11	-0,07	-0,17	-0,48	-0,23	0,68	-0,31	-0,70	-0,10	-0,34	0,24	0,25	17,94
	0,59	-0,70	0,31	-0,31	-0,08	-0,22	0,04	0,51	0,06	-0,85	-0,02	-0,11	0,05	0,16	15,19
3	-0,12	0,17	-0,50	0,56	0,04	-0,16	0,08	-0,005	0,54	0,29	0,22	-0,14	-0,32	0,82	13,28
	-0,12	0,06	-0,45	0,61	-0,17	-0,10	0,01	0,02	0,34	0,07	-0,02	0,11	-0,08	0,88	11,08
4	0,19	-0,05	0,27	-0,38	0,14	0,18	0,48	-0,20	-0,13	-0,40	0,44	0,23	-0,62	0,13	10,14
	0,07	0,21	0,01	-0,14	-0,06	-0,14	0,16	-0,38	0,08	-0,02	0,73	-0,01	-0,81	0,20	10,72
5	-0,20	-0,32	0,005	0,17	0,02	0,47	0,29	-0,01	-0,29	-0,17	-0,50	0,32	0,33	0,26	7,19
	-0,21	0,17	0,13	-0,16	0,50	0,68	0,69	-0,18	-0,23	0,03	0,14	0,52	0,13	0,01	12,06

венных признаков на выраженность определенных генетических горизонтов. Не выделились факторы, ответственные за формирование контактного оглеения во второй группе почв, поскольку эта часть профиля в исходных данных не была охарактеризована. На основании приведенных материалов можно с полной определенностью заключить, что факторный анализ не вскрывает почвенные режимы и высказанное в начале работы положение не находит подтверждения.

Оценивая недостатки и достоинства факторного анализа как инструмента обобщения больших массивов информации в почвоведении, можно отметить, что недостатками этого математического метода являются: 1) необходимость соответствия анализируемых массивов гипотезе нормальности и особенно линейности, тогда как в биологических и почвенных системах широко распространены нелинейные связи; 2) относительность оценок влияния факторов (факторных нагрузок), которые целиком зависят от набора признаков, включенных в анализ; это хорошо видно при сопоставлении однозначно интерпретированных факторов в табл. 1 и 2 и в табл. 3 и 4; 3) трудность и подчас неоднозначность интерпретации выявленных факторов — здесь возможны как ошибки, так и всевозможные спекулятивные решения.

К достоинствам факторного анализа следует отнести 1) возможность выявления внутренних закономерностей в формировании свойств почв, что очень ценно при анализе больших матриц исходных данных, обычно трудно поддающихся логической интерпретации, и в этом отношении факторный анализ безусловно может служить «генератором новых идей [6]»; 2) возможность «сжатия» информации с отбором наиболее информативных признаков по наибольшему значению коэффициента корреляции с выделенными факторами.

#### Литература

1. Апарин Б. Ф., Рубилин Е. В. Особенности почвообразования на двучленных породах Северо-Запада Русской равнины. «Наука», 1975.
2. Дыренков С. А., Могилевер О. М., Самусенко И. Ф., Григорьева С. О. О математическом обеспечении лесотипологических исследований. Тез. докл. I Всес. конф. Тр. Почв. ин-та им. В. В. Докучаева, М., 1976.
3. Кондратьева Е. В. К характеристике дерново-подзолистых почв на двучленных породах Валдайской возвышенности. В сб. Биохимические процессы в подзолистых почвах. «Наука», 1972.
4. Латышева Т. С. О методике применения статистического анализа к исследованию влагосодержания лесных горючих материалов. Докл. ТСХА, вып. 208, 1975.
5. Лоули Д., Максвелл А. Факторный анализ как статистический метод. «Мир», 1967.
6. Могилевер О. А., Самусенко И. Ф. Алгоритмы и программы дискриминантного и факторного анализа для ЭВМ «Минск-22». Л., 1975.
7. Окунь Я. Факторный анализ. «Статистика», 1974.
8. Орлов А. Я., Кошельков С. П. Почвенная экология сосны. «Наука», 1971.
9. Пономарева В. В., Мясникова А. М. К характеристике почв центральной части Карельского перешейка. В сб. работ ЦМП АН СССР, вып. 2, 1957.
10. Рожков В. А. Объективная классификация в почвоведении. Тез. докл. I Всес. конф. Тр. Почв. ин-та им. В. В. Докучаева, М., 1976.
11. Рожнова Т. А. Почвенный покров Карельского перешейка, Изд. АН СССР, 1962.
12. Хеншолл Д. Модели сельскохозяйственного производства. В кн.: Модели в географии. «Прогресс», 1971.
13. Чертов О. Г. О гумусе поверхностно-подзолистых лесных почв Карельского перешейка. Почвоведение, 1973, № 1.
14. Arkley R. J. Factor analysis and numerical taxonomy of soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., v. 35, № 2, 1971.
15. Kendall M. G. Geographical distribution of crop productivity in England. J. Royal Statist. Soc., v. 102, 1939.
16. Martini J. P., Acton C. J. Use of factor analysis in interpreting genetic processes in lacustrine soils of Ontario, Canada. Canad. J. Earth Sci., v. 12, № 10, 1975.
17. Yates T. E., Brooks R. R., Boswell C. R. Factor analysis in botanical methods of exploration. J. Appl. Ecol., v. 11, № 2, 1974.

Ленинградский НИИ  
лесного хозяйства

Дата поступления  
31.V.1976 г.