

**ОТДЕЛЫ В КЛАССИФИКАЦИИ ПОЧВ РОССИИ:
ОЦЕНКА КОРРЕКТНОСТИ ВЫДЕЛЕНИЯ
ПО ТАКСОНОМИЧЕСКИМ РАССТОЯНИЯМ**

© 2017 г. М. А. Смирнова, М. И. Герасимова

МГУ им. М.В. Ломоносова, Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, 1

e-mail: summerija@yandex.ru

Поступила в редакцию 27.06.2016 г.

Рассчитаны таксономические расстояния между парами отделов классификации почв России по методике, предложенной для расчета таксономических расстояний между реферативными почвенными группами международной классификации (WRB). На основании полученных данных сформулированы предложения по совершенствованию классификации почв России. Основная часть отделов характеризуется высокими показателями по отношению друг к другу, и корректность их выделения в классификации не вызывает сомнений. Небольшими таксономическими расстояниями обладают пары отделов: органо-аккумулятивных и структурно-метаморфических почв, гидрометаморфических почв и литоземов, криометаморфических и элювиальных, что позволяет говорить о целесообразности уточнения критериев выделения отделов и/или формул профилей типов почв, образующих отделы. Сопоставление таксономических расстояний между отделами классификации почв России и единицами международной классификации позволяет высказать предположение об их определенном сходстве в отношении содержания и объема.

Ключевые слова: диагностические свойства, расстояние Махаланобиса, процессы – ЭПП, WRB

DOI: 10.7868/S0032180X1703011X

ВВЕДЕНИЕ

При обсуждении принципов субстантивно-генетической классификации почв России основное внимание обычно уделяется ее центральной единице – генетическим типам почв, в которых строго реализованы субстантивные критерии в соответствии с принципом: система диагностических горизонтов → тип почв. Следующий уровень выше типа – отделы – выделяются по принципу “... единства основных процессов почвообразования, которые проявляются в формировании какого-либо горизонта, общего для всех почв отдела” [3, стр. 8]. Однотипность процессов, как критерий выделения отделов, унаследована этой классификацией от системы трехкомпонентной базовой классификации почв, разработанной Фридландом [5], где процессы создают “основные элементы строения профиля”, то есть горизонты.

Отделы в системе классификации В.М. Фридланда и в новой классификации почв России близки по содержанию и количеству. Более того, в авторских, некоторых национальных классификациях и разных версиях мировой Базы данных по почвенным ресурсам (World Reference Base for soil resources – WRB), теперь международной классификации (WRB – 2014 [14]), число собственно генетических единиц высокого уровня колеблется около 30. В последней версии WRB

2014 г. имеется 32 реферативные почвенные группы (РПГ). Если исключить 6 РПГ, явно относящихся к тропикам, то число РПГ практически аналогично числу отделов в классификации почв России. Критериями их выделения служат диагностические горизонты, а почвообразующие процессы выполняют функцию контроля правильности выделения горизонтов в WRB [14] или являются причиной формирования диагностического горизонта, общего для почв отдела в классификации почв России [3].

При разработке почвенных классификаций одним из дискуссионных вопросов бывает вопрос о “правильности” или объективности группировки почв на том или ином таксономическом уровне, и многими почвоведом подчеркивается целесообразность, и даже необходимость, использования математических методов, как при создании классификации, так и для ее оценки [4, 9, 11, 12, 18]. В последние десятилетия сформировались различные подходы к анализу объективности существующих классификаций, частично заимствованные из биологии, среди которых не последнее место занимает оценка таксономических расстояний.

Расчет таксономических расстояний (расстояния Махаланобиса) является математической процедурой, определяющей меру сходства между объектами. Впервые эта процедура была приме-

нена в антропологии для идентификации сходства черепов людей, в том числе людей, живших в разных географических регионах [17], и с тех пор активно используется в биологических и биогеографических исследованиях.

Применительно к почвам, расчет таксономических расстояний впервые был предпринят в 1960-е годы, когда рядом исследователей [7, 10, 22] по морфологическим, химическим, физическим и физико-химическим свойствам (около 30 различных свойств) почв были выделены таксономические группы и составлены классификации почв небольших участков. Оценки таксономических расстояний были использованы для пространственного анализа данных [19, 23]: создания цифровых почвенных карт, анализа разнообразия почв территории [20, 24], а также для группировки почв [4, 8, 21, 26]. В последнее десятилетие наметилось и другое направление в применении данной процедуры – анализ уже существующих классификаций. Так, таксономические расстояния были рассчитаны для порядков в классификации почв Австралии [19], реферативных почвенных групп WRB [20], почвенных семейств американской классификации [24], типов почв Венгерской классификации [18] и подгрупп классификации почв Ирландии [24]. С помощью расчета расстояния Махаланобиса были проведены корреляции между национальными и международной классификацией почв WRB [16, 25]. Расчет таксономических расстояний позволил усовершенствовать классификацию почв Венгрии [9, 15, 16, 18]: было сокращено количество типов почв с 39 до 15, главным образом, за счет объединения почв с минимальными значениями таксономических расстояний.

Целью настоящей работы является контроль корректности выделения отделов с точки зрения их индивидуальности, то есть обособленности, или удаленности друг от друга на основании результатов подсчета таксономических расстояний между 26¹ отделами классификации почв России, а также возможные предложения по совершенствованию классификации почв в отношении некоторых отделов.

МЕТОДЫ

Расчет таксономических расстояний (ТР) между отделами был проведен согласно процедуре, предложенной в 2010 г. [20] для реферативных почвенных групп международной классификации WRB в версии 2006 г., тогда еще “Мировой реферативной базы” [14]. Процедура заключалась в составлении матрицы ключевых почвенных свойств, диагностирующих РПГ по ключу-определителю,

расчете расстояния Махаланобиса между векторами-столбцами матрицы ключевых свойств и построении матрицы таксономических расстояний между парами РПГ.

Выбор ключевых свойств, как показал анализ публикаций, осуществлялся чаще всего по ключу-определителю: в матрицу вносятся свойства почв, позволяющие последовательно идентифицировать почвенные таксоны: реферативные почвенные группы в случае WRB и их аналоги в почвенной классификации Австралии [13], семейства в американской “Таксономии почв” [24]. Венгерская и ирландская классификации верифицировались на основе матрицы с признаками ведущих почвообразовательных процессов.

Руководствуясь ключом-определителем отделов почв, составленным Н.Б. Хитровым для Полевого определителя почв России, были выбраны 25 важных для диагностики свойства почв; в табл. 1 показано наличие (единица) или отсутствие (ноль) каждого свойства в почвах отдела; было принято допущение, что набор введенных в таблицу свойств адекватно описывает почвы отделов, а свойства имеют равный вес, то есть процедура была аналогична способу оценки ТР между 30 реферативными почвенными группами² в системе WRB [14]. Расчет таксономического расстояния между почвенными отделами производился согласно формуле [20]:

$$d_{i,j} = \sqrt{(x_i - x_j)^T (x_i - x_j)},$$

где d_{ij} – таксономическое расстояние между почвенными отделами i и j , x_i и x_j – векторы-столбцы матрицы почвенных свойств. Значения d_{ij} являются элементами матрицы таксономического расстояния между почвенными отделами i и j (рис. 1). Теснота связи между отделами обратно пропорциональна значениям таксономического расстояния. Максимальное значение ТР определяется количеством ключевых свойств почв в матрице, и в нашем случае равно пяти, поскольку почвы ранжировались по 25 свойствам. Для всех отделов посчитаны модальные и минимальные значения ТР (табл. 2).

Кроме оценки таксономических расстояний по свойствам почв была проведена аналогичная процедура по признакам элементарных почвообразовательных процессов (ЭПП). В качестве общепринятого “эталона” описания ЭПП была использована одноименная монография Института Географии РАН [6]. Часть процессов, характеризующихся в монографии, например, поступление органического вещества, протекают практически во всех почвах, следовательно, не имеют значения для оценки различий между отделами; поэтому такие ЭПП не были внесены в матрицу ключе-

¹ Из рассмотрения был исключен отдел хемоземов, как требующий дальнейшей проработки по мнению составителей и пользователей классификации.

² Минасни с соавт. [20] считали ТР для 30 реферативных групп, в их расчетах нет РПГ Technosols и Stagnosols.

Таблица 1. Матрица основных свойств почв отделов

Основные свойства почв отдела по ключу		Отделы																									
		Т	Тз	Ал	В	Ст	ТД	Алф	Рж	См	Км	Пл	Кз	Г	Ч	Свг	Сн	Ск	Гм	Оа	Эл	Лз	Аб	Ааб	Аз	Тр	СР
В профиле имеется горизонт:	Торфяной >50 см	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Гумусовый или органогенный	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1
	RY или RU или RJ	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Агро-горизонт	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0
	(кроме РВ)																										
	Любой элювиальный	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0
	S или SS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	BFM	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	BPL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	CR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CRM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	ASN/BSN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0
	BHF	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
	BT	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
BM	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	
BCA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	
BI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	
V	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CAT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	
BMK	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
G	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0
Q	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0
TUR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Вулканический пепел и гор-т BAN	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Плотная порода в пределах 30 см	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
Современный аллювий в пределах поймы	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

В профиле имеется горизонт:

Примечание. Здесь и далее отделы почв: Т – торфяные, Тз – торфяные, Тз – торфоземы, Ал – аллювиальные, В – вулканические, Ст – стратифицированные, ТД – текстурно-дифференцированные, Алф – альфегумусовые, Рж – железисто-метаморфические, См – структурно-метаморфические, Км – криометаморфические, Пл – палево-метаморфические, Кз – криогенные, Г – глеевые, Ч – аккумулятивно-гумусовые, Свг – светлогумусовые аккумулятивно-карбонатные, Сн – щелочно-глинисто-дифференцированные, Ск – галоморфные, Гм – гидрометаморфические, Оа – органо-аккумулятивные, Эл – элювиальные, Лз – литоземы, Аб – абраземы, Ааб – агроабраземы, Аз – ароземы, Тр – турбоземы, СР – слаборазвитые.

Отделы	Т	Тз	Ал	В	Ст	ТД	Алф	Рж	См	Км	Пл	Кз	Г	Ч	Свг	Сн	Ск	Гм	Оа	Эл	Лз	Аб	Ааб	Аз	Тр	СР
Т	0	1	2.24	2.24	2.24	2.24	2.00	1.73	2.24	2.24	2.24	1.73	1.73	2.65	2.45	2.65	1.73	2.00	1.73	2.00	2.00	3.46	2.82	3.46	3.00	2.24
Тз	1	0	2.00	2.00	2.00	2.00	1.73	2.00	2.00	2.45	2.00	2.00	1.41	2.45	2.65	2.45	2.00	1.73	1.41	1.73	1.73	3.61	3.00	3.32	2.83	2.45
Ал	2.24	2.00	0	2.45	2.45	2.45	2.24	2.45	2.83	2.45	2.45	2.45	2.00	2.00	3.00	2.45	2.45	1.73	2.00	2.24	2.24	3.87	3.00	3.32	2.83	2.45
В	2.24	2.00	2.45	0	2.00	2.00	1.73	2.00	1.41	2.00	2.00	2.00	2.00	2.83	2.65	2.00	2.45	1.73	1.41	1.00	1.73	3.61	3.32	3.32	2.83	2.45
Ст	2.24	2.00	2.45	2.00	0	2.45	2.24	2.00	2.45	2.00	2.45	2.00	2.00	2.83	2.65	2.45	2.00	1.73	1.41	1.73	1.73	3.32	3.00	3.32	3.16	2.45
ТД	2.24	2.00	2.00	2.00	2.45	0	1.73	2.45	2.00	2.00	2.45	2.45	2.00	2.45	3.00	2.00	2.45	1.73	2.00	1.73	2.24	3.87	3.00	2.65	2.45	2.83
Алф	2.00	1.73	2.24	1.73	2.24	1.73	0	2.24	1.73	2.24	2.24	2.24	1.73	2.65	2.83	2.24	2.24	2.00	1.73	1.41	2.00	3.46	2.83	3.16	2.65	2.65
Рж	1.73	2.00	2.45	2.00	2.00	2.45	2.24	0	2.00	2.00	2.00	1.41	2.00	2.83	2.24	2.45	2.00	1.73	1.41	1.73	1.73	3.00	3.00	3.61	3.16	2.00
См	2.24	2.00	2.45	1.41	2.00	2.00	1.73	2.00	0	2.00	2.00	2.00	2.00	2.83	2.24	2.00	2.45	1.73	1.41	1.00	1.73	3.32	3.00	3.00	2.83	2.45
Км	2.24	2.45	2.83	2.00	2.45	2.00	2.24	2.00	0	2.45	2.45	2.00	2.00	3.16	2.65	2.45	2.45	2.24	2.00	1.73	2.24	3.32	3.32	3.32	3.16	2.45
Пл	2.24	2.00	2.45	2.00	2.00	2.45	2.24	2.00	2.00	2.45	0	2.00	2.00	2.45	2.24	2.00	2.45	1.73	1.41	1.73	1.73	3.00	3.00	3.32	2.83	2.45
Кз	1.73	2.00	2.45	2.00	2.00	2.45	2.24	1.41	2.00	2.00	2.00	0	2.00	2.83	2.24	2.45	2.00	1.73	1.41	1.73	1.73	3.32	3.00	3.61	3.16	2.00
Г	1.73	1.41	2.00	2.00	2.00	2.00	1.73	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	0	2.45	2.65	2.45	2.00	1.73	1.41	1.73	1.73	3.32	3.00	3.32	2.83	2.45
Ч	2.65	2.45	2.00	2.00	2.83	2.45	2.65	2.83	2.83	3.16	2.45	2.83	2.45	0	2.65	2.45	2.83	2.24	2.45	2.65	2.65	3.32	2.24	2.65	2.00	3.16
Свг	2.45	2.65	3.00	2.65	2.65	3.00	1.83	2.24	2.24	2.65	2.24	2.24	2.65	2.65	0	2.65	2.65	2.45	2.24	2.45	2.45	2.83	2.45	3.16	3.00	2.65
Сн	2.65	2.45	2.45	2.00	2.45	2.00	2.24	2.45	2.00	2.45	2.00	2.45	2.45	2.45	2.65	0	2.83	1.73	2.00	1.73	2.24	3.32	3.00	2.65	2.00	2.83
Ск	1.73	2	2.45	2.45	2.00	2.45	2.24	2	2.45	2.45	2.45	2.00	2.00	2.83	2.65	2.83	0	2.24	2.00	2.24	2.24	3.32	2.65	3.32	3.16	2.00
Гм	2.00	1.73	1.73	1.73	1.73	1.73	2.00	1.73	1.73	2.24	1.73	1.73	1.73	2.24	2.45	1.73	2.24	0	1.00	1.41	1.41	3.46	2.83	3.16	2.65	2.24
Оа	1.73	1.41	2.00	1.41	1.41	2.00	1.73	1.41	1.41	2.00	1.41	1.41	1.41	2.45	2.24	2.00	2.00	1.00	0	1.00	1.00	3.32	3.00	3.32	2.83	2.00
Эл	2.00	1.73	2.24	1.00	1.73	1.73	1.41	1.73	1.00	1.73	1.73	1.73	1.73	2.65	2.45	1.73	2.24	1.41	1.00	0	1.41	3.46	3.16	3.16	2.65	2.24
Лз	2.00	1.73	2.24	1.73	1.73	2.24	2.00	1.73	1.73	2.24	1.73	1.73	1.73	2.65	2.45	2.24	2.24	1.41	1.00	1.41	0	3.46	3.16	3.46	3.00	1.73
Аб	3.46	3.61	3.87	3.61	3.32	3.87	3.46	3.00	3.32	3.32	3.00	3.32	3.32	3.32	2.83	3.32	3.32	3.46	3.32	3.46	3.46	0	2.45	3.16	3.32	3.61
Ааб	2.82	3.00	3.00	3.32	3.00	3.00	2.83	3.00	3.00	3.32	3.00	3.00	3.00	2.24	2.45	3.00	2.65	2.83	3.00	3.16	3.16	2.45	0	2.45	2.65	3.32
Аз	3.46	3.32	3.32	3.32	3.32	2.65	3.16	3.61	3.00	3.32	3.32	3.61	3.32	2.65	3.16	2.65	3.32	3.16	3.32	3.16	3.46	3.16	2.45	0	1.73	3.87
Тр	3.00	2.83	2.83	2.83	3.16	2.45	2.65	3.16	2.83	3.16	2.83	3.16	2.83	2.00	3.00	3.00	3.16	2.65	2.83	2.65	3.00	3.32	2.65	1.73	0	3.46
СР	2.24	2.45	2.45	2.45	2.45	2.83	2.65	2	2.45	2.45	2.45	2	2.45	3.16	2.65	2.83	2.00	2.24	2.00	2.24	1.73	3.61	3.32	3.87	3.46	0

Величины таксономических расстояний



Рис. 1. Таксономические расстояния между отделами (подсчет по свойствам).

вых свойств почв. Присутствие или отсутствие процесса в почвах отдела (1 или 0) выявлялось следующим образом: по упоминанию в описании отдела в классификации [2, 3], по сложившимся в почвоведении представлениям о генезисе конкретных горизонтов (маркирующих отдел), а также по составу типов почв отдела, сформированных комбинациями разных ЭПП, включая основной. Например, для отдела структурно-метаморфических почв общим для всех почв является структурно-метаморфический гор. ВМ, формирующийся по [6] в результате сочетания процессов дезинтеграции компонентов твердой фазы, оструктурирования почвенной массы, глинообразования и трансформации глинистых минералов — оксидов и гидроксидов железа, как правило, имеет более яркие и насыщенные тона окраски в бурой гамме по сравнению с почвообразующей породой, свидетельствующие об ЭПП бренификации или рубефикации. Кроме того, для почв отдела допускается присутствие гор. AEL и BEL, следовательно, имеют место процессы лессиважа и партлювации; в условиях временно избыточного увлажнения дополнительно накладываются процессы оглеения, глеевой миграции железа и марганца, а также процессы карбонатизации, карбонатной сегрегации (гор. BCA) и агрогенной педотурбации почвенной массы (гор. P и PU).

Таким образом, оценка таксономических расстояний “по ЭПП” осуществляется по признакам этих процессов, проявляющихся в типах и подтипах почв отдела, а их интерпретация и терминология основаны на монографии Института географии РАН [6] (табл. 3, рис. 2).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Из двух способов оценки таксономических расстояний между отделами — по свойствам почв и по признакам ЭПП, в качестве основного был принят первый способ. Этот способ является более распространенным, лучше контролируемым и, следовательно, более объективным, поскольку, свойства зафиксированы в определениях горизонтов.

Использование свойств почв для подсчета ТР по ключу-определителю отделов имеет и то преимущество, что при составлении ключа уже были отобраны существенные для диагностики отдела свойства; ими в основном являются диагностические горизонты, преимущественно срединные. Так, из 25 почвенных свойств большая часть (19) представляет собой срединный горизонт, 4 свойства — один из верхних горизонтов, и только 2 свойства можно условно отнести к “факторным” (близкое залегание плотной породы и положение на пойме). Количество свойств, то есть присутствие разных горизон-

Таблица 2. Таксономические расстояния между отделами (подсчет по свойствам): мода и минимум

Отделы	Мода	Минимум
Органо-аккумулятивные	1.41	1.00
Гидрометаморфические	1.73	1.00
Элювиальные	1.73	1.00
Литоземы	1.73	1.00
Торфоземы	2.00	1.00
Вулканические	2.00	1.00
Стратоземы	2.00	1.41
Текстурно-дифференцированные	2.00	1.73
Железисто-метаморфические	2.00	1.41
Структурно-метаморфические	2.00	1.00
Криометаморфические	2.00	1.73
Палево-метаморфические	2.00	1.41
Криоземы	2.00	1.41
Глеевые	2.00	1.41
Галоморфные	2.00	1.73
Торфяные	2.24	1.00
Альфегумусовые	2.24	1.41
Аллювиальные	2.45	1.73
Щелочно-глинисто-дифференцированные	2.45	1.73
Слаборазвитые	2.45	1.73
Аккумулятивно-гумусовые	2.65	2.00
Светлогумусовые	2.65	2.24
аккумулятивно-карбонатные		
Турбоземы	2.83	1.73
Агроабраземы	3.00	2.24
Абраземы	3.32	2.45
Агроземы	3.32	1.73

тов в почвах отдела в среднем составляет 4–5; большое число свойств соответствует либо относительной сложности строения профиля почв отдела (например, текстурно-дифференцированных и щелочно-глинисто-дифференцированных почв), либо большому числу почв в отделе с одним общим и многими разными горизонтами (табл. 1). Примером последних могут быть 4 отдела сильно нарушенных почв: агроземы, агроабраземы, абраземы и турбоземы, которые объединяются в отделы по наличию одного из агро-горизонтов в сочетании с любым срединным, или в отделе турбоземов — по комбинациям морфонов, то есть фрагментов горизонтов, перемещенных мелиоративной вспашкой, находящихся под агро-горизонтом.

Абраземы могут быть как антропогенными, так и образованными естественными процессами, и объединяются в отдел по признаку наличия на поверхности любого из срединных горизонтов (или его остатков), которых достаточно много, так что отдел включает 10 типов почв. По тем же причинам отдел агроземов содержит много почв,

Таблица 3. Матрица признаков процессов (ЭПП), формирующих свойства почв отделов

ЭПП	Отделы*																									
	Т	Тз	Ал	В	Ст	ТД	Алф	Рж	См	Км	Пл	Кз	Г	Ч	Свг	Сн	Ск	Гм	Оа	Эл	Лз	Аб	Ааб	Аз	Тр	СР
Поступление органических остатков	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Трансформация органических остатков	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Гумификация	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Минерализация органического вещества	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0
	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0
Комплексообразование и миграция продуктов гумификации	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0
	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0
Иммобилизация гуму-сово-минеральных веществ	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1
	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1
Дезинтеграция (дробление)	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Гипсообразование	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Карбонатизация	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0
Брюнификация, рубификация	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0
	0	0	0	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0
Глинообразование	0	0	0	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0
	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0
Трансформация глинистых минералов	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0
	0	0	0	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
Разрушение глинистых силикатов	0	0	0	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0
Оструктурирование почвенной массы	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0
	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0
Педотурбации почвенной массы	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0
	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0

Таблица 3. Окончание

ЭПП	Отделы*																									
	Т	Тз	Ал	В	Ст	ТД	Алф	Рж	См	Км	Пл	Кз	Г	Ч	Свг	Сн	Ск	Гм	Оа	Эл	Лз	Аб	Ааб	Аз	Тр	СР
Оглеение (восста-новленный глей)	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1
Пятнистое оглеение (окислен-ный глей)	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
Сульфидное огле-ние	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Сульфатное огле-ние	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Миграция солевая	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Осолонцевание-рассолонцевание	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0
Миграция кальцие-вая	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0
Миграция альфе-гумусовая	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0
Глеевая миграция железа и марганца	0	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0
Партлюовация	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0
Лессиваж	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0
Сегрегация и цемен-тация окис-лительная (Fe, Mn, Al, гумус)	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1
Сегрегация и цемен-тация карбо-натная	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	0
Сегрегация и цементация гипсо-вая	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0
Сегрегация и цементация солевая	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Отделы	Т	Тз	Ал	В	Ст	ТД	Алф	Рж	См	Км	Пл	Кз	Г	Ч	Свг	Сн	Ск	Гм	Оа	Эл	Лз	Аб	Ааб	Аз	Тр	СР
Т	0	1.00	2.65	3.46	3.00	3.61	3.32	3.00	3.61	3.00	3.00	2.45	2.83	3.46	3.61	3.74	3.32	2.83	3.00	1.73	3.00	3.61	3.61	4.12	4.24	2.65
Тз	1.00	0	2.83	3.61	2.83	3.46	3.46	3.16	3.74	2.83	2.83	2.24	2.65	3.61	3.46	3.61	3.16	3.00	2.83	2.00	3.16	3.46	4.00	4.12	2.45	
Ал	2.65	2.83	0	3.61	3.16	3.74	3.74	3.74	3.46	3.46	2.83	3.32	3.32	3.00	3.16	3.61	3.74	2.65	3.46	3.16	3.16	3.46	3.74	3.46	3.74	
В	3.46	3.61	3.61	0	3.32	3.00	2.65	2.24	3.32	3.32	3.32	3.16	3.46	4.00	3.87	4.47	4.58	4.00	3.00	3.00	3.32	3.87	3.32	3.61	3.61	
Ст	3.00	2.83	3.16	3.32	0	3.74	4.00	3.16	3.46	2.83	2.45	3.00	3.00	3.61	3.16	3.32	3.74	3.87	2.83	3.16	3.16	3.74	4.24	4.36	2.83	
ТД	3.61	3.46	3.74	3.00	3.74	0	2.45	3.46	3.46	2.83	3.74	3.32	3.00	3.61	4.00	3.87	4.24	3.61	2.83	3.16	4.00	3.74	2.83	2.24	4.24	
Алф	3.32	3.46	3.74	2.65	4.00	2.45	0	2.83	3.16	3.16	3.74	3.00	3.00	4.12	4.24	4.58	4.47	3.61	3.16	2.83	3.46	3.74	2.45	2.83	4.00	
Рж	3.00	3.16	3.74	2.24	3.16	3.46	2.83	0	2.83	2.83	2.83	2.65	3.32	3.87	3.46	4.12	4.47	3.87	2.83	2.45	2.83	3.16	3.46	3.74	3.16	
См	3.61	3.74	3.46	3.32	3.46	3.46	3.16	2.83	0	2.83	2.83	3.61	3.87	3.32	3.16	3.61	4.69	3.87	3.46	3.74	2.83	3.16	3.16	3.32	3.74	
Км	3.00	2.83	3.46	3.32	2.83	2.83	3.16	2.83	2.83	0	2.45	2.65	3.00	3.32	3.16	3.32	4.24	3.87	2.45	2.83	3.16	2.83	3.46	3.32	3.16	
Пл	3.00	2.83	2.83	3.32	2.45	3.74	3.74	2.83	2.83	2.45	0	2.65	3.32	3.00	2.00	3.32	4.00	3.32	2.45	3.16	2.00	2.83	3.46	3.61	2.83	
Кз	2.45	2.24	3.32	3.16	3.00	3.32	3.00	2.65	3.61	2.65	2.65	0	2.45	4.00	3.32	4.24	3.87	3.16	2.65	2.24	2.65	3.87	3.61	3.87	2.65	
Г	2.83	2.65	3.32	3.46	3.00	3.00	3.00	3.32	3.87	3.00	3.32	2.45	0	4.00	3.87	4.00	3.32	3.16	3.00	2.24	3.32	4.12	3.61	3.87	3.74	
Ч	3.46	3.61	3.00	4.00	3.61	3.61	4.12	3.87	3.32	3.32	3.00	4.00	4.00	0	2.24	2.45	4.12	3.16	3.00	3.61	3.00	3.32	3.87	3.46	4.12	
Свг	3.61	3.46	3.16	3.87	3.16	4.00	4.24	3.46	3.16	3.16	2.00	3.32	3.87	2.24	0	2.65	4.00	3.32	2.83	2.74	2.45	3.16	4.00	3.61	3.46	
Сн	3.74	3.61	3.61	4.47	3.32	3.87	4.58	4.12	3.61	3.32	3.32	4.24	4.00	2.45	2.65	0	3.61	3.74	3.61	3.87	3.61	3.00	3.87	3.61	3.87	
Ск	3.32	3.16	3.74	4.58	3.74	4.24	4.47	4.47	4.69	4.24	4.00	3.87	3.32	4.12	4.00	3.61	0	3.32	4.00	3.74	4.24	4.24	4.24	4.47	4.58	
Гм	2.83	3.00	2.65	4.00	3.87	3.61	3.61	3.87	3.87	3.87	3.32	3.16	3.16	3.16	3.32	3.74	3.32	0	3.32	3.00	3.00	4.12	3.61	3.74	3.61	
Оа	3.00	2.83	3.46	3.00	2.83	2.83	3.16	2.83	3.46	2.45	2.45	2.65	3.00	3.00	2.83	3.61	4.00	3.32	0	2.83	2.83	3.46	3.46	3.16	3.32	
Эл	1.73	2.00	3.16	3.00	3.16	3.16	2.83	2.45	3.74	2.83	3.16	2.24	2.24	3.61	3.74	3.87	3.74	3.00	2.83	0	2.83	3.74	3.46	4.00	3.87	
Лз	3.00	3.16	3.16	3.32	3.16	4.00	3.46	2.85	2.83	3.16	2.00	2.65	3.32	3.00	2.45	3.61	4.24	3.00	2.83	2.83	0	3.46	3.46	3.74	3.87	
Аб	3.61	3.46	3.46	3.87	3.74	3.74	3.74	3.16	2.83	2.83	2.83	3.87	4.12	3.32	3.16	3.00	4.24	4.12	3.46	3.74	3.46	0	2.83	2.83	3.24	
Ааб	3.61	3.46	3.74	3.32	4.24	2.83	2.45	3.46	3.16	3.46	3.46	3.61	3.61	3.87	4.00	3.87	4.24	3.61	3.46	3.46	3.46	2.83	0	2.00	4.00	
Аз	4.12	4.00	3.46	3.61	4.24	2.45	2.83	3.74	3.16	3.46	3.46	3.87	3.87	3.32	3.46	3.61	4.47	3.61	3.16	4.00	4.74	2.83	2.00	0	1.00	
Тр	4.24	4.12	3.61	3.46	4.36	2.24	2.65	3.61	3.32	3.32	3.61	3.74	3.74	3.46	3.61	3.74	4.58	3.74	3.32	3.87	3.87	3.00	2.24	1.00	4.58	
СР	2.65	2.45	3.74	3.61	2.83	4.24	4.00	3.16	3.74	3.16	2.83	2.65	3.32	4.12	3.46	3.87	3.46	3.61	3.16	3.16	3.16	3.46	4.00	4.47	0	

Величины таксономических расстояний



Рис. 2. Таксономические расстояния между отделами (подсчет по признакам ЭПП).

количество которых возрастает по сравнению с абраземами за счет комбинаций срединных с двумя агро-горизонтами (19 типов почв). Таким образом, 4 отдела (абраземы, агроабраземы, агроземы, турбоземы) обнаруживают известное сходство в механизмах формирования, заключающихся в резко выраженном механическом нарушении профиля тем или иным “внешним” по отношению к почве способом, а также в общем характере профиля: агро-горизонт (кроме абраземов) + любой срединный горизонт. Эти отделы далеки друг от друга генетически и географически, и число учитываемых свойств колеблется от 7 до 11 за счет разных срединных горизонтов (табл. 1).

Минимальное (2) число свойств – горизонтов приходится на галоморфные почвы, ржавоземы, криоземы, органо-аккумулятивные и стратоземы. Почвы первых трех отделов формируются в узком географическом диапазоне условий почвообразования, поэтому характеризуются небольшим количеством выделенных в них типов, достаточно близких по свойствам, то есть отделы относительно однородны. Органо-аккумулятивные почвы, напротив, имеют большое количество типов и широкий разброс ареалов за счет разнообразия верхних горизонтов (которое не учитывается в диагностике отдела и матрице признаков; учитывается любой агро-горизонт или природный верхний). Типы отдела стратоземов, как и органо-аккумулятивных почв, различаются между собой только верхними горизонтами, природными, или агро-горизонтами (то есть тоже оцениваются по двум свойствам; табл. 1).

Рассмотрение таблицы с перечнем свойств почв отделов показывает, что встречаются спорные случаи присутствия диагностического горизонта в почвах отдела; часть таких случаев отмечалась при обсуждении классификации на сайте или в публикациях. Например, присутствие агро-горизонта в литоземах, соответственно, выделение типа агролитоземов вызывает сомнения. Не совсем ясно, целесообразно ли имеющееся в “Определителе..., 2008” [3] большое количество типов турбоземов, сформированных в известной мере случайными комбинациями антропогенных воздействий. Тем не менее, для соблюдения корректности подсчета таксономических расстояний учет свойств почв должен был быть однозначным и проводиться по определенной версии классификации.

Очевидно, что величина таксономического расстояния отражает обособленность отдела, понимаемую как степень схождения/удаленности по отношению к другим отделам.

Расчеты ТР по свойствам почв показали следующее. Были определены модальные и минимальные значения таксономических расстояний для каждого отдела (табл. 2). Последние характеризуют высокую степень близости отдела к

другим отделам, то есть его малую индивидуальность или обособленность, следовательно, дают возможность поставить вопрос о корректности его выделения.

По величине моды можно принять, что значительная часть отделов характеризуется ТР, близким к двум (то есть отделы чаще всего отличаются от других отделов на основании четырех свойств), и их обособление как таксонов не вызывает особых сомнений. Меньшие величины свидетельствуют о нечеткости таксона, его незначительных отличиях от других. Так, среди почв ствола постлигитогенного почвообразования с низкими показателями ТР глеевые и гидрометаморфические (квазиглеевые) близки друг другу, что очевидно, так же как и то, что органо-аккумулятивные почвы очень близки литоземам. Различия между органо-аккумулятивными почвами и литоземами заключаются в близком залегании плотной породы в последних при разнообразии верхних горизонтов в почвах обоих отделов. Сходство органо-аккумулятивных почв с элювиальными, на первый взгляд странное, объясняется тем, что по строению профиля органо-аккумулятивные почвы отличаются от элювиальных почв только присутствием элювиального горизонта в последних, что в известной мере, носит формальный характер.

Самые высокие модальные значения ТР получены для четырех отделов почв с нарушенным профилем (табл. 2), причины этого явления были рассмотрены выше. Наиболее близкими к ним оказались аккумулятивно-гумусовые и щелично-глинисто-дифференцированные почвы (среднее значение ТР составляет соответственно 2.5 и 2.7). Максимальная удаленность нарушенных почв от остальных находится в соответствии с общим принципом классификации – приоритетом диагностических горизонтов в определениях типов почв.

Анализ минимальных значений ТР для всех почв повторяет результаты анализа модальных значений: наименее обособлены отделы элювиальных и органо-аккумулятивных почв, тогда как абраземы, агроабраземы и светлогумусовые аккумулятивно-карбонатные почвы больше всего отличаются от всех других почв. В отличие от почв с нарушенным профилем, высокая индивидуальность почв отдела светлогумусовых аккумулятивно-карбонатных почв вызывает известные сомнения хотя бы потому, что каштановые почвы близки к южным черноземам. Причина значительной удаленности отдела светлогумусовых аккумулятивно-карбонатных почв от других заключается в том, что, несмотря на малое количество типов в нем (3), отдел объединяет почвы с очень разным набором генетических горизонтов, то есть внутренне он неоднороден.

Среди других отделов ствола постлитогенного почвообразования максимальными значениями ТР характеризуются пары: криометаморфические — аккумулятивно-гумусовые (3.16), текстурно-дифференцированные — светлогумусовые аккумулятивно-карбонатные почвы (3.0).

Почвы ствола органогенного почвообразования — торфяные и торфоземы, друг от друга отличаются ($ТР = 1$) только по одному свойству. Слабо развитые почвы (в стволе первичного почвообразования) наиболее близки литоземам ($ТР = 1.73$) что с точки зрения генезиса вполне логично.

Почвы ствола синлитогенного почвообразования — аллювиальные, вулканические почвы и стратоземы существенно отличаются друг от друга (значения ТР от 2.0 до 2.45); при этом, некоторые почвы из ствола постлитогенного почвообразования (например, гидрометаморфические или органо-аккумулятивные почвы) характеризуются меньшими значениями ТР по отношению к синлитогенным почвам, чем синлитогенные почвы между собой. Причиной этому является пространственная разобщенность синлитогенных почв и их географическое соседство с постлитогенными. Однако все синлитогенные почвы по значениям ТР максимально удалены от абраземов — эродированных почв, что подчеркивает генетическую общность аллювиальных, вулканических почв и стратоземов.

Результаты использования другого способа оценки таксономических расстояний между отделами — по признакам элементарных почвообразовательных процессов в общем виде подтверждает полученные результаты, хотя имеются некоторые различия (табл. 3, рис. 2). По сравнению с предыдущим способом подсчета полученные значения ТР немного выше, закономерности менее отчетливы, нарушенные почвы выделяются не столь контрастно. В целом, величины ТР колеблются в пределах 2.2—4.8, составляя в среднем 3.5 против 2.4 при расчете по свойствам, поскольку при расчете по признакам ЭПП используется большее количество показателей и в формировании какого-либо горизонта может участвовать несколько ЭПП. Агроземы и турбированные почвы тоже существенно отделяются от других почв. Повышенная обособленность отмечается для отделов засоленных и слаборазвитых почв, для черноземов, текстурно-дифференцированных почв, что соответствует как общепринятым почвенно-генетическим представлениям, так и образам этих почв с позиций теории ЭПП. Другими словами, они описываются максимальным количеством индивидуальных процессов.

Анализ минимумов позволяет выделить группу почв с высокой степенью тесноты связи (величины $ТР = 1$). Как и в случае с подсчетом ТР по свойствам, торфяные почвы и торфоземы отли-

чаются друг от друга только на основании одного признака. Близкими оказались турбоземы и агро-земы — почвы, подвергшиеся механическому воздействию, нивелирующему различия исходных природных почв. Органо-аккумулятивные и элювиальные почвы, характеризующиеся малыми ТР при расчете по свойствам, существенно отделяются от других отделов при подсчете по признакам ЭПП.

Корректность группировки почв по отделам в целом подтверждается расчетами таксономических расстояний обоими способами.

Отделы полнопрофильных почв с большим количеством горизонтов имеют средние величины ТР, то есть они различаются достаточно достоверно при обоих способах подсчета; различия более очевидны при оценках по ЭПП, что находится в соответствии с “процессным” принципом выделения отделов. Относительно обособлены черноземы, светлогумусовые аккумулятивно-карбонатные почвы, криоземы. Малые ТР получены для органо-аккумулятивных и элювиальных почв, что иллюстрирует простоту строения их профиля и однообразие свойств, не определяющие существенных отличий от почв других отделов; минимальные значения приходятся на торфяные почвы и торфоземы. Почти все отделы почв максимально удалены от абраземов и агро-абраземов, причем самые большие таксономические расстояния отмечены в парах абраземы — аллювиальные почвы и абраземы — текстурно-дифференцированные почвы.

Полученные результаты сравнивались с данными по международной классификации почв — WRB [14]. Оценка таксономических расстояний была произведена Минасни с соавт. [20] по аналогичной методике, то есть по свойствам почв, перечисленным в ключе-определителе. Было выбрано 21 свойство для 30 РПГ. По содержанию и количеству они имеют много общего с отделами [1]. Значения таксономических расстояний между РПГ и отделами колеблются в близких пределах, что связано с участием в расчетах, в среднем, 4—5 свойств в обоих случаях (табл. 1 и 4).

Если среди отделов с высокими модалными значениями ТР выделялись нарушенные почвы, то среди реферативных групп больше всего отличались от других почвы, которые можно назвать литогенными: Ареносоли на песках, Регосоли — неразвитые почвы на суглинистых породах и Лептосоли — аналоги литоземов (плотная порода на глубине 25 см). Таксономические расстояния между этими РПГ и многими другими превышают 3; к ним приближаются Хистосоли — торфяные почвы и Подзолы, которые тоже характеризуются высокими значениями ТР, но по отношению к меньшему количеству групп (рис. 3). Минимальные ТР оказались у пар: Глеевые поч-

Таблица 4. Матрица ключевых свойств Реферативных почвенных групп (WRB) по [20]

Ключевые свойства почв	Histosols	Anthrosols	Cryosols	Leptosols	Vertisols	Fluvisols	Solonetzes	Solonchaks	Gleysols	Andosols	Podzols	Plinthosols	Nitisols	Ferrasols	Planosols	Chernozems	Kastanozems	Phaezems	Gypsisols	Durisols	Calcisols	Albelvisols	Alisols	Acrisols	Luvicisols	Lixisols	Umbrisols	Arenosols	Cambisols	Regosols
Почвы с мощными органическими горизонтами	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Сильное антропогенное воздействие	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Криогенные почвы	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Маломощные или сильно скелетные почвы	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1
Трещины и микрооползни	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Поймы, приморские марши	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
Щелочные почвы	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Засоление	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Влияние грунтовых вод	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0
Аллофаны или Al-гумусовые комплексы	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
Хелювиирование и хиллювиирование	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1
Аккумуляция Fe в гидроморфных условиях	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Преобладание каолинита и R ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
Резкая граница по гранулометрическому составу	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Аккумуляция органического вещества	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Карбонатность	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1
Аккумуляция кремнезема	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Почвы с накоплением ила в средней части профиля	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0
Относительно молодые почвы с кислым темным гор. А	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
Песчаные почвы	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
Умеренно- или слаборазвитые почвы	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1

Реферативные почвенные группы	Histoisols	Anthroisols	Cryosols	Leptosols	Vertisols	Fluvisols	Solontzets	Solonchaks	Gleysols	Andosols	Podzols	Plinthosols	Nitisols	Ferralsols	Planosols	Chernozems	Kastanozems	Phaeozems	Gypsisols	Durisols	Calcisols	Albelvisols	Alisols	Acrisols	Luvvisols	Umbrisols	Arenosols	Cambisols	Regosols
	0	2.65	1.73	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45
	2.65	0	2.83	3.46	3.00	3.00	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45
	1.73	2.83	0	2.83	3.16	2.65	3.00	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45
	3.32	3.46	2.83	0	3.74	3.32	3.61	3.46	3.46	2.65	2.65	3.16	3.00	3.32	3.00	3.46	3.74	3.32	3.61	3.16	3.32	3.00	3.46	3.16	3.61	3.32	2.83	3.00	2.45
	3.00	2.45	3.16	3.74	0	3.00	1.73	2.45	2.83	2.65	3.32	3.16	2.65	2.65	2.65	2.45	1.41	2.24	1.73	2.00	2.24	2.65	2.83	2.45	2.65	2.83	3.74	3.00	3.32
	2.45	2.24	2.65	3.32	3.00	0	2.83	1.73	1.73	2.45	2.45	2.65	2.45	2.45	2.45	2.65	3.00	2.83	2.45	2.65	2.45	2.45	2.24	2.24	2.83	2.45	2.24	2.41	2.83
	2.83	2.24	3.00	3.61	1.73	2.83	0	2.65	2.65	2.45	3.16	2.65	2.00	2.00	2.00	1.73	2.24	2.00	2.45	2.65	2.45	2.00	2.24	1.73	1.41	2.00	2.65	3.61	3.46
	2.24	2.45	2.45	3.46	2.45	1.73	2.65	0	1.41	2.24	2.65	2.45	2.24	2.24	2.24	2.45	2.45	2.65	1.73	2.45	2.24	2.24	2.00	2.00	2.65	2.24	2.45	2.83	1.73
	2.24	2.00	2.45	3.46	2.83	1.73	2.65	1.41	0	2.24	2.65	2.45	2.24	2.24	2.24	2.45	2.83	2.65	2.24	2.83	2.24	2.24	2.00	2.00	2.65	2.24	2.45	2.45	3.32
	2.83	2.24	2.65	2.65	2.45	2.45	2.45	2.24	2.24	0	2.45	2.65	1.41	2.00	2.00	2.24	2.65	2.45	2.45	2.65	2.45	2.00	2.24	1.73	2.45	2.00	1.73	3.00	2.45
	2.83	2.65	3.00	2.65	3.32	2.45	3.16	2.65	2.65	2.45	0	2.65	2.45	2.83	2.83	3.00	3.32	2.83	3.16	3.32	2.83	2.45	3.00	2.65	2.83	2.65	2.24	2.45	2.45
	3.00	2.83	2.83	3.16	3.16	2.65	2.65	2.45	2.45	2.65	2.65	3.16	2.65	2.65	2.65	2.45	3.16	3.00	2.65	3.16	2.24	2.24	1.41	2.00	2.65	2.83	3.16	2.24	3.32
	2.83	2.24	2.65	3.00	2.65	2.45	2.00	2.24	2.24	2.45	2.45	2.45	0	1.41	1.41	1.73	2.65	2.45	2.45	2.65	2.45	1.41	1.73	1.00	2.00	1.41	2.24	3.00	2.45
	2.83	2.24	2.65	3.32	2.65	2.45	2.00	2.24	2.24	2.00	2.83	1.73	1.41	0	0	1.73	2.65	2.45	2.45	2.65	2.45	1.41	1.00	1.00	2.00	0.00	2.24	3.32	3.16
	2.83	2.24	2.65	3.00	2.65	2.45	2.00	2.24	2.24	2.00	2.83	1.73	1.41	0	0	1.73	2.65	2.45	2.45	2.65	2.45	1.41	1.00	1.00	2.00	1.41	2.24	3.32	3.16
	2.24	2.00	2.45	3.46	2.45	2.65	1.73	2.45	2.45	2.24	3.00	2.45	1.73	1.73	1.73	0	2.00	1.73	2.65	2.83	2.65	1.73	2.00	1.41	1.73	2.45	3.46	2.65	3.32
	2.65	2.45	2.83	3.74	1.41	3.00	2.24	2.45	2.83	2.65	3.32	3.16	2.65	2.65	2.65	2.00	0	1.73	2.24	2.00	2.24	2.65	2.83	2.45	2.24	2.65	2.83	3.74	3.00
	2.00	2.24	2.24	3.32	2.24	2.83	2.00	2.65	2.65	2.45	2.83	3.00	2.45	2.45	2.45	1.73	1.73	0	2.83	2.65	2.45	2.00	2.65	2.24	2.45	2.45	2.65	3.32	3.16
	2.83	2.65	2.65	3.61	1.73	2.45	2.45	1.73	2.24	2.45	3.16	2.65	2.45	2.45	2.45	2.65	2.24	2.83	0	2.24	2.00	2.45	2.24	2.24	2.00	2.45	2.65	3.32	3.16
	3.32	2.83	3.16	3.16	2.00	2.65	2.65	2.45	2.83	2.65	3.32	3.16	2.65	2.65	2.65	2.83	2.00	2.65	2.24	0	2.24	2.65	2.83	2.45	2.65	2.45	3.16	2.65	3.00
	2.83	2.65	2.65	3.32	2.24	2.45	2.45	2.24	2.24	2.45	2.83	2.24	2.45	2.45	2.45	2.65	2.24	2.45	2.00	2.24	0	2.45	2.24	2.24	2.45	2.24	3.00	2.00	2.83
	2.45	2.24	2.24	3.00	2.65	2.45	2.00	2.24	2.24	2.00	2.45	2.24	1.41	1.41	1.41	1.73	2.65	2.00	2.45	2.65	2.45	0	1.73	1.00	2.00	1.41	2.24	3.00	2.45
	2.65	2.45	2.45	3.46	2.83	2.24	2.24	2.00	2.00	2.24	3.00	1.41	1.73	1.00	1.73	2.00	2.83	2.65	2.24	2.83	2.24	1.73	0	1.41	2.24	1.00	2.45	3.16	3.32
	2.65	2.00	2.45	3.16	2.45	2.24	1.73	2.00	2.00	1.73	2.65	2.00	1.00	1.00	1.00	1.41	2.45	2.24	2.24	2.45	2.24	1.00	1.41	0	1.73	1.00	2.00	3.16	2.24
	2.83	2.24	2.65	3.32	2.65	2.45	2.00	2.24	2.24	2.00	2.83	1.73	1.41	0.00	1.41	1.73	2.65	2.45	2.45	2.65	2.45	2.00	2.24	1.73	0	2.00	2.65	3.61	2.83
	2.83	2.24	2.65	3.32	2.65	2.45	2.00	2.24	2.24	2.00	2.83	1.73	1.41	0.00	1.41	1.73	2.65	2.45	2.45	2.65	2.45	1.41	1.00	1.00	2.00	2.24	3.32	2.45	3.16
	3.00	2.45	2.83	2.45	2.83	2.24	2.65	2.45	2.45	1.73	2.65	2.45	2.24	2.24	2.24	2.45	2.83	2.65	2.65	2.45	2.24	2.24	2.45	2.00	2.65	2.24	0	2.83	1.73
	3.00	2.83	3.16	2.83	3.74	2.24	3.61	2.83	2.45	3.00	2.24	3.16	3.00	3.32	332	3.46	3.74	3.32	3.32	3.16	3.00	3.00	3.16	3.16	3.61	3.32	2.83	0	2.24
	2.45	2.65	2.65	3.00	3.00	1.41	2.83	1.73	1.73	2.45	2.45	2.24	2.45	2.45	2.45	2.65	3.00	2.83	2.45	2.65	2.00	2.45	2.24	2.24	2.83	2.45	1.73	2.24	0
	3.16	3.00	3.00	2.24	2.32	2.83	3.46	3.32	3.32	2.45	2.45	3.32	3.16	3.16	3.16	3.32	3.32	3.16	3.16	3.00	2.83	2.83	3.32	3.00	3.16	3.16	2.24	2.65	2.83
																													0

Величины таксономических расстояний



Рис. 3. Таксономические расстояния между реферативными почвенными группами WRB по [20].

вы—Солончаки, Аллювиальные почвы—Камбисоли (в основном буроземы), Каштановые почвы—Вертисоли, а также Солонцы—Лювисоли и Альбелювисоли, то есть почвы с глинисто-иллювиальным горизонтом, что в общем можно объяснить с генетических позиций. Черноземы больше всего удалены от Подзолов, не считая вышеназванных литогенных почв, и максимально близки Акрисолям — кислым желтым ферраллитным почвам, что весьма странно. Солонцы далеки от Криосолей, но близки Лювисолям (3.0 и 1.4, соответственно). Низкая индивидуальность отмечается для Антросолей и различных тропических почв, вплоть до отсутствия различий между Ферральсолями и Ликсисолями, центральные образы которых можно условно отнести, соответственно, к почвам экваториальных лесов и саванн.

В отличие от оценок, произведенных для отделов, в матрице ключевых свойств почв РПГ учитываются не диагностические горизонты, а отдельные свойства почв и даже условия почвообразования. Например, “положение на пойме или в полосе приливов и маршей” свойственны не только Аллювиальным, Песчаным, Торфяным, Глеевым почвам и Солончакам, но и Подзолам и Камбисолям; трещиноватость и сликенсайды — Солонцам и Вертисолям; к почвам с “мощными органическими горизонтами” отнесены Торфяные, Каштановые, Черноземы, Файоземы и Криосоли (рис. 3). В результате, ТР оказываются зависящими от количества свойств РПГ, которое определено, как нам кажется, недостаточно строго (по сравнению со свойствами, используемыми для построения матрицы ключевых свойств отделов). Тем не менее, в WRB отчетливо отделены явно индивидуальные литогенные РПГ, остальные (внетропические) почвы оцениваются по ТР, либо как достаточно обособленные (Подзолы), резко отличающиеся друг от друга (Криосоли—Вертисоли), либо как имеющие определенное сходство в свойствах (Лювисоли и Солонцы), иногда результат оказывается артефактом (небольшие ТР Антросолей).

Сравнение с результатами методически аналогичной оценки отделов показало сходство в наличии основного массива почв с умеренными различиями между собой и существенно более обособленных от них почв. К последним в WRB относятся литогенные, в классификации почв России — нарушенные. Почвы основного массива характеризуются значениями ТР от 2 до 3; отклонений в сторону более высоких (>3) значений незначительно больше в случае РПГ (соответственно, 22 против 20%), а в сторону более низких (<2) значений — в случае отделов (19 против 12%). Эта общая оценка позволяет предположить, что индивидуальность РПГ и отделов вполне сопоставима.

ВЫВОДЫ

1. Отделы — второй таксономический уровень в классификации почв России, и их диагностика предполагает протекание определенного почвообразовательного процесса, идентифицируемого по горизонту, присутствующему во всех типах почв отдела. Кроме основного процесса, типы почв отделов формируются и другими процессами; и те и другие можно рассматривать как комбинации ЭПП. Другими словами, отделы достоверно выделяются по генетической близости составляющих их почв.

2. Корректность группировки почв для получения однородных групп оценивается по таксономическим расстояниям (расстояниям Махаланобиса). Данные о таксономическом расстоянии между почвами играют важную роль для развития и верификации почвенной классификации, что было показано рядом зарубежных исследователей. Опыт применения расчетов таксономических расстояний для международной классификации почв (WRB) был использован для аналогичной оценки отделов.

3. Рассмотрение таксономических расстояний между отделами, полученных двумя способами подсчетов — по двум группам критериев, позволяет высказать ряд пожеланий к содержанию отделов.

Отделы торфяных почв и торфоземов целесообразно объединить, и выделять среди торфяных почв, наряду с имеющимися типами природных почв, типы осушенных — торфоземов по аналогии с другими отделами, где природные почвы соседствуют со своими агрогенными аналогами.

Отдел светлогумусовых аккумулятивно-карбонатных почв содержит типы почв, близкие генетически (и географически), но с большим количеством горизонтов, что определяет завышенные значения ТР. Целесообразно провести переоценку строения профилей почв этого отдела.

Отдел турбоземов выделяется высокими показателями за счет разнообразия морфонов, следовательно, исходных горизонтов и типов почв. Возможно, имеет смысл объединить некоторые типы в пределах отдела.

С другой стороны, небольшие таксономические расстояния между некоторыми отделами (например, органо-аккумулятивные — структурно-метаморфические, гидрометаморфические — литоземы, криометаморфические — элювиальные), разными с точки зрения генезиса почв, могут служить импульсом к пересмотру диагностики почв этих отделов. Возможно, целесообразно провести уточнение критериев выделения отделов и/или формул профилей типов почв в отделах, в крайнем случае — перемещение типов почв между отделами.

4. Сравнение таксономических расстояний в двух классификациях показывает сопоставимость оценок для отделов и реферативных почвенных групп, соответствующую общим представлениям о генезисе почв.

Благодарность. Исследование выполнено за счет гранта РФФИ № 16-35-60056 мол_а_дк.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Герасимова М.И. Сравнение принципов, структуры и единиц классификации почв России и международной почвенной классификации // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2015. Вып. 79. С. 23–35.
2. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
3. Полевой определитель почв России. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2008. 82 с.
4. Рожков В.А., Скворцова Е.Б. Тектология почвенной мегасистемы (общность организации и анализа данных) // Почвоведение. 2009. № 10. С. 1155–1164.
5. Фридланд В.М. Основные принципы и элементы базовой классификации почв и программа работ по ее созданию. М.: ВАСХНИЛ, 1982. 151 с.
6. Элементарные почвообразовательные процессы: Опыт концептуального анализа, характеристика, систематика. М.: Наука, 1992. 184 с.
7. Bidwell O.W., Hole F.D. An experiment in the numerical classification of some Kansas soils // Soil Sci. Soc. Am. 1964. Proc. 26. P. 263–268.
8. Carre F., Jacobson M. Numerical classification of soil profile data using distance metrics // Geoderma. 2009. V. 148. P. 336–345.
9. Fuchs M., Lang V., Szegi T., Micheli E. Traditional and pedometric approaches to justify the introduction of swelling clay soils as a new soil type in the modernized Hungarian Soil Classification System // Catena. 2015. V. 128. P. 80–94.
10. Hole F.D., Hironaka M. An experiment in ordination of some soil profiles // Soil Sci. Soc. Am. 1960. Proc. 24. P. 309–312.
11. Ibañez J.J., Ruiz-Ramos M. A mathematical comparison of classification structures: the case of USDA Soil Taxonomy // Eurasian Soil Sci. 2005. V. 39. № 7. P. 712–719.
12. Ibañez J.J., Ruiz-Ramos M., Tarquis A.M. Mathematical structures of biological and pedological taxonomies // Geoderma. 2006. V. 134. P. 360–372.
13. Isbell R.F. The Australian Soil Classification. Victoria: CSIRO Publishing, Collingwood, 1996.
14. IUSS Working Group WRB, 2006. World Reference Base for soil resources, 2nd edition. World Soil Resources Reports № 103. FAO, Rome. 128 p.
15. Lang V., Fuchs M., Waltner I., Micheli E. Soil taxonomic distance, a tool for correlation: as exemplified by the Hungarian brown forest soils and related WRB reference soil groups // Geoderma. 2013. V. 192. P. 269–276.
16. Lang V., Fuchs M., Waltner I., Micheli E. Taxonomic distance measurements applied for soil correlation // Agrokem. Talajt. 2010. V. 59(1). P. 57–64.
17. Mahalanobis P.C. Analysis of race mixture in Bengal // Journal and Proceedings of the Asiatic Society of Bengal. 1927. V. 23. P. 301–333.
18. Micheli E., Fuchs M., Lang V., Szegi T., Szabone Kele G. Methods for modernizing the elements and structure of the Hungarian Soil Classification System // Agrokem. Talajt. 2014. V. 63(1). P. 69–78.
19. Minasny B., McBratney A.B. Incorporating taxonomic distance into spatial prediction and digital mapping of soil classes // Geoderma. 2007. V. 142. P. 285–293.
20. Minasny B., McBratney A.B., Hartemink A.E. Global pedodiversity, taxonomic distance, and the World Reference Base // Geoderma. 2010. V. 155. P. 132–139.
21. Ramirez-Lopez L., Behrens T., Schmidta K., Viscarra Rossel R.A., Dematté J.A.M., Scholten T. Distance and similarity-search metrics for use with soil vis-NIR spectra // Geoderma. 2013. V. 199. P. 43–53.
22. Sarkar P.K., Bidwell O.W., Marcus L.F. Selection of characteristics for numerical classification of soils // Soil Sci. Soc. Am. 1966. Proc. 30. P. 269–272.
23. Simo R.P.O., Schulte R., Corstanje J.A., Hannam R.E. Creamer Validating digital soil maps using soil taxonomic distance: A case study of Ireland // Geoderma Regional. 2015. V. 5. P. 188–197.
24. Toomanian N., Esfandiarpour I. Challenges of pedodiversity in soil science // Eurasian Soil Science. 2010. V. 43. № 13. P. 1486–1502.
25. van Huyssteen C.W., Micheli E., Fuchs M., Waltner I. Taxonomic distance between South African diagnostic horizons and the World Reference Base diagnostics // Catena. 2014. V. 113. P. 276–280.
26. Waruru B.K., Shepherd K.D., Ndegwa G.M., Kamoni P.T., Sila A.M. Rapid estimation of soil engineering properties using diffuse reflectance near infrared spectroscopy // Biosystems Engineering. 2014. V. 12. P. 177–185.